

*Juana ORTIZ GALILEA*

---

LOS ELEMENTOS DEL CONCEPTO DE TIEMPO  
ARISTOTÉLICO EN LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

*Tesis doctoral  
dirigida por  
Josep MONSERRAT MOLAS*

*Universitat Abat Oliba CEU  
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES  
Programa de doctorado en Humanidades y Ciencias Sociales  
Departamento de Humanidades y Ciencias de la Educación*

---

2016



*Que yo, el instante, hable contigo, el tiempo*

JORGE LUIS BORGES

*A mi esposo, Agustín*

## Resumen

En este trabajo se realiza una investigación de los rasgos propios del concepto de tiempo aristotélico que se pueden encontrar en la concepción de tiempo de la física contemporánea, en concreto, en la teoría de la relatividad. Para ello se efectúa un estudio comparativo de las principales concepciones y teorías del tiempo que han presidido el pensamiento occidental, desde Aristóteles hasta la actualidad. Veremos cómo ha evolucionado el concepto de tiempo a través de las aportaciones de Newton, Leibniz y Kant para detenernos, finalmente, en el concepto de tiempo que encontramos en las teorías de la relatividad de Einstein –tanto la especial como la general-, así como en todas aquellas nociones que se encuentran involucradas en este concepto, tales como movimiento, materia, espacio, infinito o instante, entre otros.

## Resum

*En aquest treball es porta a terme una investigació de les característiques que es poden trobar en la concepció del temps en la física contemporània, en particular, en la teoria de la relativitat; Amb aquesta finalitat es realitza un estudi comparatiu de les principals concepcions i teories del temps que han dominat el pensament a l'Occident, des d'Aristòtil fins a l'actualitat. Veurem com ha evolucionat el concepte de temps a través de les aportacions de Newton, Leibniz i Kant per aturar-nos, finalment, en el concepte de temps que trobem en les teories de la relativitat d'Einstein -tant l'especial com la general-, així com en totes aquelles nocions que es troben involucrades en aquest concepte, com ara moviment, matèria, espai, infinit o instant, entre d'altres.*

## Abstract

*In this work an investigation of the features of the Aristotelian concept of time can be found in the conception of time in modern physics, namely the theory of relativity, for which a comparison is made with the principal takes concepts and theories of time from Aristotle to the present, studying the theories of time involved in the evolution of this concept. We will see how the concept of time has evolved through Newton's, Leibniz's and Kant's contributions before finally dwelling upon the concept of time we find in Einstein's relativity theories - both special and general -, as well as in all those notions involved in this concept, such as movement, matter, space, infinite or instant, among others.*

## Palabras clave / Keywords

Tiempo – Movimiento - Relatividad – Aristóteles – Kant – Einstein – Newton – Instante – Leibniz – Espacio
---



# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	11
--------------------	----

## PRIMERA PARTE

### EL CONCEPTO DE TIEMPO DE ARISTÓTELES A KANT

CAPÍTULO 1. El concepto de tiempo en Aristóteles .....	21
1.1. Contexto filosófico previo.....	22
1.2. Definición aristotélica de tiempo .....	25
1.3. Cambio y movimiento.....	29
1.4. Continuidad e infinito .....	39
1.5. Número y medida .....	55
1.6. El instante .....	61
1.7. Tiempo y alma .....	67
1.8. Substancia aristotélica .....	73
1.8.1 Substancia .....	73
1.8.2 Accidentes .....	79
CAPÍTULO 2. El concepto de tiempo en la física moderna .....	83
2.1 El concepto newtoniano de tiempo .....	84
2.2 Tiempo absoluto vs. tiempo relacional .....	93
2.2.1 La polémica Leibniz-Clarke .....	93
2.2.2 Orden temporal y conexión causal .....	104
2.3 El entramado conceptual de la física clásica.....	108
2.4 Movimiento y materia en la física clásica .....	116
2.5 El mecanicismo y el concepto de tiempo .....	129
2.6 El tiempo newtoniano vs. el tiempo aristotélico .....	135
CAPÍTULO 3. El concepto de tiempo en Kant .....	139
3.1 Contexto científico filosófico .....	140
3.2 El tiempo como forma pura .....	146
3.3 El tiempo y la síntesis .....	153
3.4 El tiempo y los conceptos .....	156
3.5 El tiempo y el sujeto .....	161
3.6 Tiempo aristotélico y tiempo kantiano vs. tiempo newtoniano .....	165

## SEGUNDA PARTE

### EL CONCEPTO DE TIEMPO EN LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

CAPÍTULO 4. La teoría de la relatividad especial .....	175
4.1 El contexto pre-relativista .....	175
4.1.1 El declive del reinado de la física clásica .....	175
4.1.2 La aparición del concepto de campo .....	177
4.1.3 El experimento Michelson-Morley .....	183
4.1.4 El principio de relatividad de Galileo .....	187
4.1.5 La transformación de Lorentz .....	191
4.2 La teoría de la relatividad especial .....	195
4.2.1 El germen de la teoría de la relatividad especial .....	195
4.2.2 Los dos postulados de la teoría de la relatividad especial .....	199
4.2.3 La naturaleza convencional del tiempo relativista .....	203
4.2.4 Relatividad de la simultaneidad y orden de sucesión .....	211
CAPÍTULO 5. La teoría de la relatividad general .....	221
5.1 La relatividad general .....	221
5.1.1 El tiempo de la relatividad general .....	227
5.2 El espacio-tiempo relativista .....	231
5.3 La síntesis entre materia y energía .....	237
5.4 El espacio-tiempo de Minkowski .....	244
5.5 El espacio-tiempo y la discontinuidad .....	257
5.6 El concepto de tiempo relativista .....	263
5.6.1 El tiempo y la teoría de la unificación .....	263
5.6.2 Relatividad general y cosmología .....	267
5.7 Consecuencias de la teoría de la relatividad .....	276
CAPÍTULO 6. La crítica de Bergson al concepto de tiempo de la relatividad especial .....	285
6.1 La duración como fundamento de la realidad .....	285
6.2 El tiempo relativista no es múltiple sino uno .....	293
 CONCLUSIONES: Los elementos del concepto de tiempo aristotélico en la teoría de la relatividad .....	307
1. Superación e integración de diversas dicotomías .....	309
2. La intervención del sujeto en el concepto de tiempo .....	310
3. Del <i>plenum</i> aristotélico al <i>continuum</i> de la relatividad .....	311



4. La raíz física del concepto de tiempo aristotélico y del concepto de espacio-tiempo de la relatividad .....	313
5. El universo dinámico en Aristóteles y en la relatividad .....	315
6. El tiempo no es substancial .....	317
7. El tiempo como medida del cambio .....	318
8. Del movimiento como desplazamiento al movimiento como transformación .....	320
9. El tiempo no se compone de instantes .....	322
10. La flecha del tiempo .....	324
BIBLIOGRAFÍA .....	327



## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo nos proponemos abordar la problemática que rodea al concepto de tiempo. En concreto intentaremos examinar en qué aspectos y en qué medida algunos de los elementos y rasgos que caracterizan el concepto de tiempo aristotélico se encuentran presentes en el concepto de tiempo que maneja la física contemporánea, dirigiendo nuestra atención a la teoría de la relatividad en particular.

El creciente interés por el asunto que aquí nos ocupa se ha ido gestando en nosotros desde los primeros años de estudio de la carrera de Filosofía. Asignaturas de Filosofía de la Naturaleza, sobre el Espacio y sobre el Tiempo, además de las materias relacionadas con la Filosofía de la Ciencia propias de nuestra disciplina nos han enseñado a plantearnos las preguntas cuya respuesta hemos buscado, además de en el terreno de la Metafísica y la Filosofía de la Ciencia, en otros ámbitos del saber. Y esta inquietud nos ha llevado también a la Facultad de Física, cuyos cursos ofertados dedicados a la Astrofísica y la Cosmología, entre otros, han contribuido a enriquecer nuestra perspectiva en la reflexión en torno al Universo y lo que en él acontece, pero, sobre todo, han contribuido a aumentar significativamente nuestra avidez de comprensión.

El nuestro será un estudio dentro del ámbito filosófico, aunque son numerosos y diversos los ángulos desde donde la filosofía puede reflexionar sobre el problema del tiempo -desde la filosofía de la ciencia, desde la estética, desde la historia del pensamiento filosófico, la filosofía del lenguaje, la antropología filosófica, la filosofía de la cultura, etc.- y es que se trata de una cuestión que, perteneciendo de lleno al ámbito de la metafísica, no pertenece menos al de la naturaleza, a la teoría del conocimiento, a la manera en que el ser humano se relaciona con el mundo, con él mismo y con lo trascendente.

Pero el concepto de tiempo es un concepto que surge del ámbito de la física pues interviene en la descripción de la mayoría de los fenómenos del mundo físico -junto a otros como la distancia, la materia o el movimiento-. Ante la dificultad que presenta el tiempo cuando se trata de captar su realidad, su estatuto ontológico o su naturaleza, este trabajo pretende investigar cuáles son los rasgos característicos del

concepto de tiempo que maneja la física contemporánea. Y con este fin nosotros ceñiremos nuestra investigación a la perspectiva propia de la filosofía de la ciencia.

Sin embargo, debido a la naturaleza de nuestro objeto de estudio hemos considerado conveniente separar su contenido en dos partes diferenciadas: en la primera parte realizaremos un análisis comparativo de los conceptos de tiempo aristotélico, newtoniano y kantiano en sendos capítulos 1, 2 y 3, mientras que en la segunda parte nos proponemos comprender los conceptos fundamentales de la teoría de la relatividad especial y general, por lo que los dos primeros capítulos de esta parte -capítulos 4 y 5- que están dedicados a estas teorías científicas, adquieren un tono más científico que filosófico, si bien hemos intentado mantener en lo posible nuestro discurso en el ámbito de lo conceptual; por último, el capítulo 6 –que cierra la segunda parte- está dedicado a la crítica de Bergson en relación, precisamente, al concepto de tiempo de la relatividad especial, aportación que, por pertinente, no podíamos obviar y cuyo discurso nos ayuda a volver de la ciencia a la filosofía de la ciencia con mayor facilidad.

Así, pues, la investigación que nos ocupa nos permitirá sumergirnos en varios paradigmas fundamentales: el aristotélico, el cartesiano-newtoniano y, finalmente, el paradigma contemporáneo de la física relativista al que intentaremos aproximarnos para definir y caracterizar en la medida de lo posible, a pesar de las limitaciones que la cercanía temporal impone, por razones obvias, a esta tarea. Tendremos ocasión de contrastarlos y constatar, también, de qué manera sus diferentes cosmovisiones se corresponden con los diferentes conceptos de tiempo.

Nuestro objetivo es averiguar cuáles son los aspectos del concepto aristotélico de tiempo que han llegado a nuestros días de la mano de la física contemporánea; en qué medida ésta hereda aquella concepción de tiempo y qué elementos recupera o rescata del olvido al que el paradigma clásico cartesiano-newtoniano la había relegado.

En el capítulo primero accederemos, desde las páginas de la obra de Aristóteles, a la cosmovisión aristotélica -recogida y consolidada a lo largo de la Edad Media en la cosmología ptolemaica- según la cual el mundo es cerrado, finito, y sus elementos responden claramente a una clasificación que explica a la perfección el lugar que ocupa cada uno de ellos a partir del *telos* a que obedece todo movimiento. Un mundo constituido por una serie de esferas encajadas entre sí concéntricamente y

que se convierten en motor y móvil unas de otras, en un movimiento total que parte de un primer motor inmóvil -originado en la esfera exterior-, cuyo movimiento es eterno, en un mundo que es increado. Y es en este contexto de la cosmología aristotélica donde se impone la reflexión en torno al tiempo para Aristóteles, siendo en el libro IV de la *Física* donde se desarrollará toda una teoría del tiempo: dentro del estudio de lo que se refiere a la Naturaleza y lo que la define, que es, precisamente, el movimiento.

En el capítulo segundo de este trabajo pondremos el foco en el paradigma newtoniano que parte de la filosofía de Descartes y se consolida con la ciencia de Newton. Paradigma que inspira una visión del mundo muy distinta a la que hasta entonces venía imperando: el universo ahora es infinito; el espacio y el tiempo se independizan del mundo para adquirir substancialidad y convertirse en el marco estático de un mundo constituido por cosas cuyo movimiento obedece las leyes precisas de la mecánica clásica con la exactitud del mecanismo de un reloj. Nos interesaremos por la polémica mantenida por Leibniz y Clarke, que concentra en sí misma y viene a representar el momento en que se manifiesta el enfrentamiento entre dos concepciones de la Naturaleza, ilustrando en gran medida la transición de una a otra forma de representarse el mundo. Y, frente a la concepción relacional del tiempo de Leibniz, será el concepto newtoniano de tiempo absoluto, basado en una concepción mecánico-corpúscular de la materia, el que presidirá la ciencia moderna hasta bien entrado el siglo XX.

En el tercer capítulo del trabajo de investigación acudiremos al pensamiento de Kant dado el significativo giro que el padre de la filosofía trascendental dio al conocimiento científico, al situar en el sujeto de conocimiento el fundamento del tiempo –y el del espacio- como su condición de posibilidad. Y su confrontación con el paradigma newtoniano nos permitirá reconocer en el concepto de tiempo kantiano algunos rasgos en común con el concepto aristotélico de tiempo.

Dedicaremos el capítulo cuarto a analizar los principales conceptos implicados en la teoría de la relatividad especial y en el capítulo quinto haremos otro tanto con la teoría de la relatividad general. Veremos cómo los conceptos de la ciencia clásica se hacen insuficientes para representar los principios fundamentales de la física relativista e intentaremos clarificar todo lo posible aquellos aspectos que pudieran hallarse involucrados en el concepto de tiempo que la teoría relativista maneja. Y en el sexto y último capítulo nos ocuparemos, como decíamos, del debate que se

produjo en torno al concepto de tiempo de la teoría de la relatividad, protagonizado principalmente por Henri Bergson y Albert Einstein.

Todo ello con el fin de poner de manifiesto, por último, los elementos del concepto de tiempo aristotélico que se encuentran presentes en la ciencia contemporánea y en qué medida ésta -especialmente la física- ha venido a recuperar la concepción de la naturaleza que Aristóteles proponía.

La conciencia de la temporalidad afecta tanto a la mirada que el hombre se dirige a sí mismo como a la que dirige al mundo que le rodea. Y de ahí la importancia radical que ha tenido para la historia de la cultura y el pensamiento e, incluso, en la constitución de la Historia misma en tanto que relato de acontecimientos en sucesión, es decir, en tanto que relato de *sucesos*, además de establecer un orden entre la multiplicidad de percepciones sensibles que se dan en cualquier hecho de conocimiento. Por otra parte, el tiempo se nos muestra como algo dado, que está ahí por defecto, que subyace a la multitud de cambios que estamos percibiendo y experimentando permanentemente a pesar de lo cual su esencia escapa a nuestra comprensión.

Pero más que del tiempo, aquí vamos a hablar del concepto de tiempo. Y hablar de un concepto es hablar, al fin y al cabo, del ser humano pues éste es el único capaz de concebir, de producir conceptos. Hablamos, pues, aquí, dentro del contexto de las Humanidades, de algo producido por el hombre, por el *homo sapiens sapiens*, en tanto que ser esencialmente racional.

En el mismo intento de establecer su definición, el tiempo nos muestra su carácter aporético y, a pesar de hallarlo en todo lo que existe y acontece, se hace difícil –o tal vez imposible- tanto su aprehensión como su comprensión. Aristóteles señala este peculiar modo de ser del tiempo, tal que, incluso, invita a poner en duda su realidad, y esto debido, fundamentalmente, a esa ambigua composición de ser y de no-ser en que parece consistir. Unos siglos más tarde expresará San Agustín en sus *Confesiones* esta perplejidad que nos causa el intento de su definición:

Pasado y futuro, ¿cómo pueden existir si el pasado ya no es y el futuro no existe todavía? En cuanto al presente... si el presente para ser tiempo es preciso que deje de ser presente y se convierta en pasado, ¿cómo decimos que el presente existe si su

razón de ser estriba en dejar de ser? No podemos, pues, decir con verdad que existe el tiempo sino en cuanto tiende a no ser.<sup>1</sup>

También Kant expresa este paradójico modo de ser del tiempo al considerarlo como límite del pensamiento; un tiempo cuya naturaleza subjetiva lo hace inaccesible al pensamiento. Y, ya sea su naturaleza más o menos objetiva, más o menos subjetiva, constatamos que el tiempo está allí donde hay devenir, donde hay cambio o movimiento

Existe en nuestros días una pluralidad de perspectivas desde donde abordar el tiempo y, por ello, diversos conceptos de tiempo según el área de conocimiento en la que surge: el tiempo geológico, los relojes biológicos, los relojes atómicos de la física cuántica, el tiempo de Planck, el tiempo como cuarta dimensión del espacio-tiempo relativista, el tiempo como parámetro de la mecánica clásica, el tiempo cosmológico, el tiempo psicológico, el tiempo histórico, etc. Tanto dentro de estas disciplinas como a un nivel interdisciplinar se da una discusión, una pluralidad de puntos de vista a la hora de ocuparse de esta cuestión.

A la pregunta por si existe el tiempo y, en caso afirmativo, de qué clase de entidad se trata, se ofrece todo un abanico de posibles respuestas, incluida la negación de que el tiempo sea una entidad objetivamente existente. Sin embargo, ello no obsta para que nos propongamos hallar una explicación, una descripción de a qué nos estamos refiriendo hoy cuando hablamos del tiempo y de lo temporal, cuando utilizamos las relaciones temporales o cuando usamos el parámetro tiempo en el contexto de la física.

Es en el ámbito de la ciencia donde se ha despertado en la actualidad el interés por la cuestión de qué es el tiempo, principalmente en el desarrollo de la investigación física en cuyo marco, cada vez con más frecuencia, se intenta reflexionar sobre los fundamentos del objeto de la física -aquello que se observa, mide y manipula- desde una perspectiva filosófica. De la teoría de la relatividad se desprende que el tiempo no es nada en sí mismo y que no existe más que a través de la materia y la energía. Ya Aristóteles consideró el carácter subsidiario del tiempo con respecto a los acontecimientos, a los cambios que tienen lugar en el mundo sublunar. El tiempo es aquello en lo que se da lo que acontece o es aquello que se da en lo que acontece: el propio lenguaje participa en esta confusión.

---

<sup>1</sup> SAN AGUSTÍN. *Confesiones*. Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos, 1963, p. 327.

Tampoco la continuidad del tiempo constituye un lugar común en todas las concepciones: en el marco de la mecánica cuántica, por ejemplo, en virtud de la discontinuidad observada en los procesos energéticos, se postula una discontinuidad esencial a todos los procesos naturales, discontinuidad que, por ende, también se daría en el tiempo –llegando a postular, incluso, el *chronon* como una unidad de tiempo imperceptible para la experiencia. Como afirma Bas C. van Fraassen en su obra *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*, “la imagen física del mundo tiene una importancia que requiere la atención de toda la filosofía que se precie”.<sup>2</sup>

Y no vamos a ocuparnos aquí de si el tiempo existe o no existe y cuál sea su estatuto ontológico sino, más bien, cuál es el concepto de tiempo que se desprende de la física contemporánea, cuáles son sus propiedades y características y qué estatuto ontológico le atribuye ésta al tiempo. Pero todo ello con el fin de averiguar cuál es la vigencia de la concepción aristotélica en esta caracterización, vigencia aristotélica en la que consideramos que todavía no se ha puesto el suficiente foco. Si bien es cierto que ya algunos autores han destacado la vigencia de la concepción aristotélica de la naturaleza en la ciencia contemporánea<sup>3</sup>, nosotros pretendemos profundizar en esta presencia de Aristóteles, más en concreto, en todo aquello que caracteriza al concepto de tiempo para, a la vez que constatamos en qué medida se ha dejado atrás todo el arsenal conceptual que se había consolidado con la ciencia moderna, observar con mirada analítica todos aquellos rasgos que caracterizan el o los conceptos de tiempo que se desprenden de la teoría de la relatividad. Si existe, tal vez, la posibilidad de hacer compatibles las nociones de tiempo de una y otra dentro de una hipotética teoría de la unificación en la que numerosos científicos vienen invirtiendo grandes esfuerzos, es una cuestión que aquí no abordaremos pero que, en todo caso, creemos podría dar pie a una posterior investigación.

Quiero agradecer al Dr. Josep Monserrat Molas, director de esta tesis, su cuidada y atenta supervisión a lo largo de todo el proceso de investigación y elaboración del

---

<sup>2</sup> VAN FRAASSEN, B. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. Barcelona: Editorial Labor, 1978, p. 8.

<sup>3</sup> Autores como Francisco José Soler Gil – SOLER GIL, F. J. *Aristóteles en el mundo cuántico*. Granada: Editorial Comares S. L., 2003- o Albert Arisó –ARISÓ, A. *Nuevas respuestas a viejas preguntas*. Barcelona: PEUB, 2013- han estudiado la presencia del pensamiento aristotélico en la ciencia contemporánea.



trabajo, su paciencia y sus sabios consejos, sin cuya ayuda éste no habría sido posible.

Agradezco a la Facultad de Ciencias Sociales de la Universitat Abat Oliba CEU, por la oportunidad que me ha brindado de realizar esta tesis. Al departamento administrativo por la eficacia y amabilidad con que en todo momento han aclarado todas las consultas y atendido las necesidades que han ido surgiendo.

A todo el profesorado del Máster de Estudios Humanísticos y Sociales del Departamento de Humanidades y Ciencias de la Educación de la Universitat Abat Oliba, por la formación para la investigación humanística que me ha proporcionado y en cuyo seno se fueron perfilando los primeros trazos de este trabajo. En especial, al Dr. Martín Echavarría, tutor de esta tesis, cuya orientación y ayuda han facilitado enormemente la elaboración del trabajo y al Dr. Enrique Martínez García, por el impulso que supuso para esta investigación, tanto por su ánimo como por sus interesantes sugerencias y consejos.

Y, por último, a mi esposo, el Dr. Agustín González Gallego, por su bendita ilusión, su enorme paciencia, por su aliento en los momentos difíciles. Gracias infinitas por estar siempre aquí.



## **PRIMERA PARTE**

### **EL CONCEPTO DE TIEMPO DE ARISTÓTELES A KANT**



# **CAPÍTULO I**

## **EL CONCEPTO DE TIEMPO EN ARISTÓTELES**

Comenzaremos este trabajo, como no podía ser de otro modo, con el estudio del concepto de tiempo aristotélico. Para ello, tras dedicar unas líneas a su contextualización, nos acercaremos directamente a la clara y explícita definición de tiempo que ofrece Aristóteles para, a continuación, profundizar en cada una de las nociones que se encuentran implicadas en la misma de una forma más o menos directa. Conceptos tales como cambio o movimiento, continuidad e infinito, número y medida, o instante -dedicamos un apartado a analizar el instante aristotélico, que es clave para comprender la naturaleza del tiempo en Aristóteles- y cuál es su estatuto ontológico en el pensamiento aristotélico. Nos interesará después indagar en el grado de intervención del sujeto, si es que se da, en la constitución del tiempo. En qué medida y de qué modo el alma humana tiene que ver en ello. Por último, dedicaremos un espacio a recordar la noción de substancia aristotélica con el fin de tenerla presente a lo largo de nuestra investigación en lo que respecta al estatuto ontológico del tiempo. Y nos hemos asomado directamente a los textos de Aristóteles para obtener de sus propias palabras las respuestas a todas estas cuestiones. Pero también hemos apoyado nuestro análisis en autores cuya obra, centrada en el pensamiento aristotélico, ha enriquecido nuestro criterio: autores como Antoni Prevosti, Josep María Petit, Albert Arisó, Santiago Echandi, Jesús Conill Sancho, Fernando Inciarte, Francisco José Soler Gil y Eugeni D'Ors, entre otros.

Consideramos necesario -imprescindible mejor- detenernos en los aspectos mencionados para continuar la investigación que nos llevará, por fin, hasta el concepto de tiempo que maneja la teoría de la relatividad, con la intención de descubrir qué hay de Aristóteles en el concepto de tiempo de nuestros días.

## 1.1 Contexto filosófico previo

Cuenta Hesíodo en su *Teogonía* -en el siglo VIII a. C.- que de una inmensa oscuridad llamada Caos surgieron los cinco elementos básicos que constituyen el mundo: Gea, Tártaro, Érebo, Eros y Nix. De la unión de Gea y Urano surgió Cronos, que destronó a su padre ocupando su lugar como dios todopoderoso. Más tarde, Cronos, que conocía la profecía que le anunciaba un destino semejante al de su padre, devoraba a sus propios hijos a medida que éstos iban naciendo:

A los primeros se los tragó el poderoso Cronos según iban viniendo a sus rodillas desde el sagrado vientre de su madre, conduciéndose así para que ningún otro de los ilustres descendientes de Urano tuviera dignidad real entre los Inmortales.<sup>4</sup>

La reflexión sobre la naturaleza del tiempo aparece ya entre los presocráticos, también conocidos como los *filósofos de la naturaleza* gracias a Aristóteles. Naturaleza que se manifiesta en constante cambio, motivo por el cual se puede entender que el tiempo se presenta siempre como algo ligado a este devenir de los acontecimientos. Ya en palabras atribuidas a Anaximandro por Simplicio de Cilicio se relaciona la pregunta por el origen de la totalidad de lo existente con la intervención del tiempo, que es el que impone el orden, es decir, el que permite que exista el cosmos:

Afirma que éste no es agua ni ningún otro de los denominados elementos, sino una naturaleza distinta e infinita, a partir de la cual se generan los cielos y los mundos [contenidos] en éstos. Ahora bien, a partir de donde hay generación para las cosas, hacia allí también se produce la destrucción, según la necesidad; “en efecto, pagan la culpa unas a otras y la reparación de la injusticia, de acuerdo con el ordenamiento del *cronos*”.<sup>5</sup>

Así, ya desde los inicios de la filosofía, la pregunta por el sentido del mundo y del ser remite a otra pregunta: la pregunta por el *cronos*. Parménides, por su parte, afirmando en su poema que el ser únicamente es en presente, niega la realidad ontológica del tiempo para postular la eternidad del ser que nunca fue ni tampoco será:

---

<sup>4</sup> HESÍODO, *Teogonía*. 460-465. Madrid: Gredos, 1990.

<sup>5</sup> SIMPLICIO, *in Phys.* 24, 13-25. En EGGERS LAN, C.; JULIÁ, V. E. *Los filósofos presocráticos I*. Madrid: Gredos, 1981, pp. 105-107.

Permanece aún una sola versión de una vía: que es.  
En ella hay muchos signos de que, por ser ingénito,  
es también imperecedero, entero, monogénito, inmóvil y perfecto.  
Ni nunca ni fue ni será, puesto que es ahora, todo entero, uno, continuo.  
Pues ¿qué nacimiento podrías encontrarle? ¿cómo y de dónde se acreció?  
No te permitiré que digas ni pienses de “lo no ente”,  
porque no es decible ni pensable lo que no es.  
Pues ¿qué necesidad le habría impulsado a nacer después  
más bien que antes, si procediera de la nada?  
Por tanto, es necesario que sea completamente o no sea en absoluto.<sup>6</sup>

De tal modo que, de la inmovilidad del Ser en tanto que uno, continuo y entero, y de la inexistencia del no ser, se desprende la negación del tiempo como realidad ontológica junto con la negación del movimiento. Lo que es, es *siempre*, no puede venir del no ser y no puede ir a él. Y lo que es tampoco puede *llegar a ser* ni *haber llegado a ser*. Y si es completamente y no admite el cambio no puede llegar a ser algo distinto de lo que es. El tiempo no es, pues, en tanto que se afirma la eternidad del Ser que, entero, inengendrado e indestructible, está fuera del tiempo y de la sucesión, es inmutable y permanece en un presente inalterable.

Para Platón el *cronos* es la imagen móvil de la eternidad. En Platón el mundo y el tiempo son simultáneos; ambos tienen un inicio; el *cronos* comienza con el inicio del mundo pero no se identifica con él:

El tiempo, por tanto, nació con el universo, para que, generados simultáneamente, también desaparecieran a la vez, si en alguna ocasión tiene lugar una eventual disolución suya, y fue hecho según el modelo de la naturaleza eterna para que este mundo tuviera la mayor similitud posible con el mundo ideal, pues el modelo posee el ser por toda la eternidad, mientras que éste es y será todo el tiempo completamente generado. La decisión divina de crear el tiempo hizo que surgieran el sol, la luna y los otros cinco cuerpos celestes que llevan el nombre de planetas para que dividieran y guardaran las magnitudes temporales.<sup>7</sup>

Así, el tiempo es a la eternidad lo que el mundo sensible es al mundo de las Ideas. Ambos, tiempo y mundo sensible, pertenecen a un nivel ontológicamente inferior. Son una mera imitación de la eternidad y de las Ideas y carecen de la realidad que sí corresponde a sus modelos. Por lo tanto, la eternidad en Platón, lejos de

---

<sup>6</sup> SIMPLICIO, in *Phys.* 8, 1-31, en KIRK, G. S.; RAVEN, J. E.; SCHOFIELD, M. *Los filósofos presocráticos*. Madrid: Gredos, 1987, pp. 358-362.

<sup>7</sup> PLATÓN. *Timeo*. Madrid: Gredos, 1992, 38 b-d.

constituir la negación del tiempo, es su fundamento, como las Ideas eternas lo son del mundo sensible.

El demiurgo trató de hacer una especie de imitación móvil de la eternidad, que es el tiempo. La eternidad es inmóvil, es el permanecer en sí mismo, un eterno presente dado todo de una vez, pero el tiempo es movimiento, cambio, y se mueve porque al carecer de perfección no puede permanecer en sí mismo. Pero el tiempo imita a la eternidad, que es su modelo, y se acerca a él gracias a que, a pesar de tener un inicio, no tiene un final, y esto lo permite el carácter cíclico del tiempo:

La idea del eterno retorno es una constante del pensamiento griego. Un universo circular, que gira sobre sí mismo con un movimiento también circular, que es el movimiento perfecto porque es el más parecido al reposo, que es el estado "natural" y realmente perfecto de las cosas. El tiempo es asimilado a este movimiento circular, y por consiguiente, es considerado como una sucesión espacializada. Este tiempo circular se repite a sí mismo perennemente, por lo que la noción cíclica del tiempo impide que en él se dé lo verdaderamente nuevo, lo irrepetible.<sup>8</sup>

El demiurgo de Platón no es creador sino organizador del *caos* preexistente dando lugar a un mundo ordenado: el *cosmos*. Platón coincidirá con Parménides en la afirmación de que de la eternidad sólo se predica el presente mientras que el pasado y el futuro son propios del tiempo:

Antes de que se originara el mundo, no existían los días, las noches, los meses ni los años. Por ello, planeó su generación al mismo tiempo que la composición de aquél. Éstas son todas partes del tiempo y el «era» y el «será» son formas devenidas del tiempo que de manera incorrecta aplicamos irreflexivamente al ser eterno. Pues decimos que era, es y será, pero según el razonamiento verdadero sólo le corresponde el «es», y el «era» y el «será» conviene que sean predicados de la generación que procede en el tiempo.<sup>9</sup>

Como afirma Trejos Marín, el instante surge en la consideración del tránsito de lo Uno a lo múltiple: la multiplicidad es el despliegue de lo Uno y este despliegue supone el paso del reposo al movimiento. "Pero pasar de la inmovilidad al movimiento o viceversa sólo es posible en un *momento* fuera del tiempo, ya que no hay un tiempo en el que un mismo ser pueda estar simultáneamente en movimiento

---

<sup>8</sup> TREJOS MARÍN, S. *Conceptos básicos del pensamiento griego sobre el tiempo*. Revista Acta Académica Universidad Autónoma de Centro América, nº 26, ISSN 1017-7507, 2000, pp. 213-226.

<sup>9</sup> PLATÓN. *Timeo op. cit.* 37 e.



y en reposo".<sup>10</sup> Platón ubica este momento del cambio en el *instante*, en lo repentino o súbito:

-¿Hay acaso esa cosa extraña en la que estaría el momento en que cambia?

-¿Qué cosa?

- El instante. Pues el instante parece significar algo tal que de él proviene el cambio y se va hacia uno u otro estado. Porque no hay cambio desde el reposo que está en reposo ni desde el movimiento mientras se mueve. Esa extraña naturaleza del instante se acomoda entre el movimiento y el reposo, no estando en ningún tiempo; pero hacia él y desde él lo que se mueve cambia para pasar a estar en reposo, y lo que está en reposo cambia para moverse.

- Así parece.

- También lo uno, sin duda, si está en reposo y se mueve, tendrá que cambiar de uno a otro, pues sólo de ese modo podría realizar ambos estados; pero, al cambiar, cambia en el instante, y en el momento en que cambia no podrá hallarse en ningún tiempo, ni podrá moverse ni podrá estar en reposo.<sup>11</sup>

Y, en este sentido, como veremos a continuación, Platón anticipa un aspecto fundamental del concepto de tiempo aristotélico: la consideración del instante como algo *ajeno* al tiempo es un elemento clave en la explicación aristotélica de la naturaleza del tiempo.

## 1.2 Definición aristotélica de tiempo

Es Aristóteles quien elabora el primer estudio sistemático del tiempo. Y que lo haga en su tratado de la *Física* no es baladí ya que, como él mismo afirma:

Puesto que la naturaleza es un principio del movimiento y del cambio, y nuestro estudio versa sobre la naturaleza, no podemos dejar de investigar qué es el movimiento; porque si ignorásemos lo que es, necesariamente ignoraríamos también lo que es la naturaleza.<sup>12</sup>

Es el movimiento lo que define a la naturaleza, al mundo físico, y en la investigación de ésta se hará necesario, pues, averiguar qué es el movimiento, qué es el lugar y qué es el tiempo. Como señala J. M. Petit,

---

<sup>10</sup> TREJOS MARÍN, S. *Conceptos básicos del pensamiento griego sobre el tiempo. ibid.*

<sup>11</sup> PLATÓN. *Parménides*. En *Diálogos V*, Madrid: Gredos, 1988, 156d-157a.

<sup>12</sup> ARISTÓTELES. *Física* III 200b 14.

es absolutamente falso que el término “sensible” sirve para caracterizar la Naturaleza. es cierto que la Física habla de lo sensible, pero no en tanto que sensible sino en tanto que tiene en sí misma el principio de su movimiento [...] A lo sensible no se le puede añadir lo móvil como si hubiera sensibles inmóviles, es decir, como si lo móvil fuera una especie de lo sensible, una clase particular de ello. Si la Física estudia la Naturaleza es porque la Naturaleza es principio de movimiento,<sup>13</sup>

Aristóteles constata la dificultad que conlleva la comprensión del tiempo que, en primera instancia, parece ser un tipo de movimiento o de cambio. Pero, así como se puede predicar mayor o menor rapidez de los movimientos y los cambio que se dan en unas cosas o en otras, el tiempo, sin embargo, parece darse igual en todas partes y en todas las cosas. Aristóteles rechazará la opinión de la tradición que identificaba el tiempo con el movimiento, bien sea movimiento del todo o únicamente el de la esfera celeste. En el segundo caso, alega, si hubiera varios cielos habría varios tiempos simultáneos y esto es imposible.

Dice Aristóteles que, mientras que en las cosas divisibles es necesario que existan simultáneamente todas sus partes, cuando se trata del tiempo vemos que una parte ha pasado y ya no existe y otra parte no existe todavía y, por lo tanto, el tiempo *parece consistir en algo de ser y algo de no-ser*. Por otra parte, tampoco parece consistir el tiempo en una yuxtaposición de *ahoras*. El *ahora* –afirma Aristóteles– no puede ser una parte del tiempo porque, si bien la parte mide el todo, el *ahora* más bien parece dividir el tiempo en pasado y futuro. Y a estas cuestiones sobre la dificultad que plantea la comprensión del *ahora* se suman otras como si permanece siempre el mismo o, por el contrario, es siempre distinto. Y concebimos el tiempo cuando percibimos el antes y el después en el movimiento; “lo distinguimos al captar que son diferentes entre sí y que hay algo intermedio diferente entre ellos. Porque cuando inteligimos los extremos como diferentes del medio, y el alma dice que los *ahoras* son dos, uno antes y otro después, es entonces cuando decimos que hay tiempo”,<sup>14</sup> donde el *ahora* del presente constituye el límite entre ambos, el instante –*nῦν*–, entre el antes y el después.

Es la percepción de las diferentes fases del movimiento –antes y después– lo que constituye *el número del movimiento según lo anterior y posterior*. Y número es aquí entendido como algo que es inmanente al movimiento y que se hace explícito a una mente que es capaz de distinguirlo. “Porque el tiempo es justamente esto: número

<sup>13</sup> PETIT SULLÁ, J.M. *La filosofía de la naturaleza como saber filosófico*. Barcelona: Ediciones Acervo, 1980, p. 104-105.

<sup>14</sup> ARISTÓTELES. *Física* IV 218a 26-29.

del movimiento según el antes y después. Luego el tiempo no es movimiento, sino sólo en tanto que el movimiento tiene número”.<sup>15</sup>

La relación de orden temporal está presupuesta en su definición de tiempo en los términos “según lo anterior y lo posterior”. El hecho de ser medida o número le confiere al tiempo aristotélico un carácter convencional en tanto que medida, aunque con un fundamento en lo real. Es, por tanto, un concepto derivado, no primitivo. En la definición aristotélica aparecen, pues, los dos aspectos o rasgos del tiempo: su métrica y la relación de antes-después, esto es, la duración y la sucesión. Pero, de ambos, Aristóteles señala el primero, la duración, el número, como lo que el tiempo es.

Así, pues, la sucesión –el aspecto pre-métrico del tiempo- constituiría en Aristóteles el aspecto primitivo, no derivado, del concepto de tiempo; y, en tanto que primitivo, es también su aspecto indefinible. El tiempo es aquello del movimiento en función de lo cual ordenamos, segmentamos, numeramos y medimos el movimiento según lo anterior y lo posterior. Es lo que nos permite describir el movimiento y, por lo mismo, el movimiento también nos da la medida del tiempo: ambos se miden y se describen mutuamente. Aristóteles define la duración -o magnitud- del tiempo con respecto a la relación de sucesión -de anterioridad y posterioridad-, aspecto primitivo del tiempo que da por supuesto y, del mismo modo, tampoco define la relación de simultaneidad.<sup>16</sup>

El tiempo aristotélico no existe sin cambio -*metabolé*-: si el *ahora* no fuera siempre diferente y fuese siempre el mismo, el tiempo no existiría. De hecho, cuando no percibimos ningún cambio y el alma permanece en un único momento indiferenciado, es decir, “cuando percibimos el ahora como unidad, y no como anterior y posterior en el movimiento, o como el mismo con respecto a lo anterior y lo posterior, entonces no parece que haya transcurrido algún tiempo, ya que no ha habido ningún movimiento”.<sup>17</sup> Y este rasgo esencial del tiempo se describe en términos fenomenológicos que vinculan al tiempo directamente con el sujeto de percepción, el alma humana.

---

<sup>15</sup> ARISTÓTELES. *Física* IV 219b 1-3.

<sup>16</sup> Será Leibniz quien pondrá el foco en el aspecto relacional de la simultaneidad desarrollando toda una teoría del orden temporal.

<sup>17</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 218b 31-32.

Ambos, movimiento y tiempo, los percibimos simultáneamente. El tiempo no es movimiento pero tampoco se da sin él. El tiempo es algo del movimiento y las propiedades que encontrará Aristóteles en el tiempo se apoyan en las propiedades del movimiento que, a su vez, sigue a la magnitud también en sus propiedades. El tiempo para Aristóteles, pues, no tiene entidad en sí mismo sino como atributo.

Ahora bien, el antes y después son ante todo atributos de un lugar, y en virtud de su posición relativa. Y puesto que en la magnitud hay un antes y un después, también en el movimiento tiene que haber un antes y un después, por analogía con la magnitud. Pero también en el tiempo hay un antes y un después, pues el tiempo sigue siempre al movimiento.<sup>18</sup>

Pero el tiempo no es número de cualquier movimiento sino del movimiento continuo en general. Aunque haya muchas cosas moviéndose simultáneamente no existe un tiempo distinto para cada movimiento ni existen varios tiempos de forma simultánea. Todo tiempo tomado simultáneamente es el mismo. Y, de entre todos los tipos de movimiento, es el movimiento de traslación circular y uniforme el que constituye la principal medida del tiempo por ser éste el mejor conocido, el más evidente, y por ser común a todo lo que se mueve: se trata del movimiento de la esfera, que mide los demás movimientos y, por eso, mide también el tiempo. De este modo, el mismo tiempo parece ser algo así como un círculo. El movimiento es, pues, medido por el tiempo y el tiempo es, a su vez, medido por el movimiento.

Y esto se dice porque todas estas cosas son juzgadas por el tiempo, y porque tienen un fin y un comienzo como si fuera un ciclo, pues se piensa que el tiempo mismo es un círculo; y se piensa así porque el tiempo es la medida de tal desplazamiento y él mismo es medido por este desplazamiento.<sup>19</sup>

El concepto de tiempo aristotélico es, como vemos, subsidiario de otras nociones y requiere para su comprensión un análisis de los conceptos fundamentales involucrados en su definición como son el movimiento, la noción de número o la de continuidad, entre otros, y esto nos lleva a preguntarnos por cuál es el significado que Aristóteles da a estos términos.

---

<sup>18</sup> ARISTÓTELES. *Física IV* 219a 11-20.

<sup>19</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 223b 24-224a 1.

### 1.3 Cambio y movimiento

En la exposición del concepto de cambio y movimiento aristotélico nos apoyaremos, además de en las propias palabras de Aristóteles -fundamentalmente en los libros II, V y VI de la *Física*-, en el trabajo de Albert Arisó titulado *Nuevas respuestas a viejas preguntas. La vigencia de Aristóteles en la ciencia contemporánea*.<sup>20</sup>

Como nos recuerda Aristóteles, podemos decir que algo está en el tiempo en dos sentidos: si es medido por el tiempo -como lo es el movimiento en tanto que el tiempo es su medida- y si es sujeto de algo que está en el tiempo en el sentido anterior, como lo están las cosas u objetos materiales, que son el sujeto del movimiento o cambio, e incluso del reposo, puesto que el reposo sólo se puede predicar de lo que es capaz de movimiento.

Partiendo, por un lado, de la base de que hay cosas que están sólo en acto, otras están sólo en potencia, y otras están en potencia y en acto y, por otro lado, del principio firmemente aceptado por Aristóteles de que no existe movimiento alguno fuera de las cosas, -ya que el movimiento no está en la forma, sino en la materia “porque ni la forma, ni el lugar, ni la cantidad, mueven ni son movidos, sino que hay un moviente, algo movido y algo hacia lo que es movido”<sup>21</sup>- se distinguen, por lo tanto, tantas clases de movimiento y de cambio como especies hay de *lo que es*.

En todos los casos cambia algo, por la acción de algo y hacia algo. Aquello por cuya acción cambia es la causa que mueve; lo que cambia es la materia y aquello hacia lo cual cambia es la forma. Y así, podemos distinguir las siguientes clases de cambio o *metabolé*:- cambio entitativo o substancial -*génesis*-, cambio cualitativo -alteración-, cambio cuantitativo -aumento y disminución- y cambio local -desplazamiento-. Y, de todos ellos, solamente podemos llamar movimiento -*kinesis*- a los tres últimos tipos de cambio.

Puesto que todo movimiento es un cambio, y ya se ha dicho que sólo hay tres clases de cambios, y puesto que los cambios según la generación y la destrucción no son movimientos sino cambios por contradicción, se sigue entonces que sólo el cambio que sea de un sujeto a un sujeto puede ser un movimiento. [...] Así, pues, si las categorías se dividen en sustancia, cualidad, lugar, tiempo, relación, cantidad, acción y

---

<sup>20</sup> ARISÓ, A. *Nuevas respuestas a viejas preguntas*. Barcelona: PEUB, 2013.

<sup>21</sup> ARISTÓTELES. *Física* IV 224a 34-224b 7.

pasión, tiene que haber entonces necesariamente tres clases de movimientos: el cualitativo, el cuantitativo y el local.<sup>22</sup>

Todo cambio se verifica desde un término hasta otro término en una sucesión en la que se distingue lo anterior y lo posterior. Para todos los casos en que el sujeto carece de contrario, el cambio que parte de la cosa es contrario al que va hacia ella (generación/destrucción, pérdida/ adquisición) pero esto no son movimientos sino cambios. Es decir, los cambios de las cosas que no tienen contrarios, aunque tengan opuestos, son cambios pero no son movimientos. Los cambios que parten del ser y los que se dirigen al ser no tienen contrario propiamente dicho: aunque es verdad que el reposo es contrario al movimiento, no se puede hablar de reposo respecto a la generación o la destrucción. Respecto del mismo cuerpo, reposo y movimiento son dos opuestos, siendo el uno contrario a la naturaleza y el otro conforme a ella.

Y puesto que todo cambio es desde algo hacia algo –como lo muestra la palabra *metabolé*, que indica algo “después de” (metá) otro algo, esto es, algo anterior y algo posterior-, lo que cambia tiene que cambiar en alguna de estas cuatro maneras: o de un sujeto a un sujeto, o de un sujeto a un no-sujeto, o de un no-sujeto a un sujeto –y entiendo por “sujeto” lo que es significado por un término afirmativo. Se sigue entonces de lo dicho que tiene que haber tres clases de cambios: 1) de un sujeto a un sujeto, 2) de un sujeto a un no-sujeto, y 3) de un no-sujeto a un sujeto, ya que no hay cambio de un no-sujeto a un no-sujeto, pues entre éstos no hay oposición de contrariedad ni de contradictoriedad.<sup>23</sup>

Así pues, las clases de cambio *-metabolé-* son: movimiento *-kinesis-* entre contrarios según cualidad, cantidad y lugar, por un lado, y génesis y destrucción (que no son movimientos sino cambios por contradicción). En este contexto queda bien establecida la diferencia entre contradicción y contrariedad: mientras que la contrariedad se da en la relación entre dos términos, la contradicción se predica de un solo término. Por tanto, sólo en la relación de contrariedad podemos hablar de movimiento en tanto que cambio delimitado por dos términos contrarios. Así, llamamos generación al cambio por contradicción que se produce de un *no-sujeto* a un *sujeto*, cambio del no-ser al ser.

La generación no puede ser un movimiento, ya que en ella hay un no-ser que llega a ser. Porque, aunque sea mas bien por accidente que lo que no es llega a ser, se puede decir con verdad que el no-ser pertenece a aquello que llega a ser en sentido

---

<sup>22</sup> ARISTÓTELES. *Física* IV 225a 34- 225b 10.

<sup>23</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 225a 1-7.

absoluto. Y de la misma manera el no-ser tampoco puede estar en reposo. [...] Y además, si todo lo movido está en un lugar, el no-ser tendría que estar en alguna parte, pero no puede estar en un lugar.<sup>24</sup>

Pero -hemos de matizar- no se trata aquí de una *creatio ex nihilo* pues para Aristóteles -como para Parménides- nada puede surgir de la nada o del no-ser. Siempre hay una materia preexistente y persistente en cualquier proceso de generación y, por otra parte, el no-ser no puede tener movimiento porque atribuir movimiento al no-ser derivaría en una serie de absurdos.

Aristóteles explica el movimiento en términos de potencia y acto: es la actualización de lo que está en potencia en tanto que tal, en tanto que está en potencia. Todo aquello que es un móvil -y en lo que, por tanto, radica el tiempo- se caracteriza por su transitar entre el poder ser y el poder no ser: el mundo de la potencia y el acto; movimiento es la realización de lo potencial en tanto que potencial y ocurre cuando se da la realización misma, y no antes ni después.

Puesto que no puede reducirse ni a la privación, ni tampoco a la pura actualidad, sólo queda que sea a la vez acto y no acto. Indeterminación que le es esencial e impide que pueda reducirse a cualquiera de los términos de la dicotomía. El movimiento es, pues, actualización o acto inacabado, imperfecto, puesto que moverse es actualizarse o, lo que es lo mismo, moverse es estar actualizándose. Lo que se mueve, mientras se mueve, no está actualizado plenamente, continúa en potencia y, por eso, sigue moviéndose:

Una de las razones por las que se piensa que el movimiento es indefinido está en el hecho de que no se lo puede entender en sentido absoluto como una potencialidad o como una actualidad de las cosas; porque ni la cantidad en potencia ni la cantidad en acto se mueven necesariamente. Y se piensa que el movimiento es un cierto acto, aunque incompleto; la razón está en el hecho de que lo potencial, cuya actualidad es precisamente el movimiento, es incompleto.<sup>25</sup>

El movimiento parece ser una especie de acto, aunque un acto imperfecto porque aquello que existe en potencia y cuyo acto es el movimiento es imperfecto. Como señala Antoni Prevosti, el movimiento se da, precisamente, gracias a que no es ni puro acto ni pura potencia,

---

<sup>24</sup> ARISTÓTELES. *Física* IV 225a 26-33.

<sup>25</sup> ARISTÓTELES. *Física* III 201b 27-30.

Ahora vemos más exactamente qué quiere decir Aristóteles con esta expresión. El movimiento es un acto, pero como a medio camino entre la simple potencia y el acto también simple. De la misma manera, pues, que a veces se dice que el mérito de Aristóteles es haber puesto entre el ente y el no ente el ente en potencia, podemos añadir también que incluso entre la potencia y el ser en acto intercala otra forma de ser que no es plena actualidad ni pura potencia, y es el movimiento.<sup>26</sup>

Movimiento es el acto de lo que existe en potencia. El bronce –ejemplo con el que Aristóteles ilustra esta idea- es potencialmente una estatua, pero el acto del bronce, en tanto que es bronce, no es movimiento, pues no es lo mismo la esencia del bronce que cualquier potencia o capacidad de movilidad que él pueda poseer y el movimiento es el acto de lo posible en cuanto es posible.

El movimiento aristotélico es entendido como proceso. Desde esta perspectiva es evidente que el movimiento no es substancia, no es una cosa, un *esto -tode ti-*, pero tampoco consiste en una idea abstracta: no es *la blancura* sino *el blanqueamiento*, el proceso que lleva a la forma final. No está en la forma sino en el *ser movido*, es decir, en el móvil tomado en acto mientras que las formas, las cualidades, que son fin de los movimientos, son inmóviles. Pero el movimiento no existe fuera de las cosas: movimiento es *el acto del ser que se mueve en el ser móvil*.

Así como todos los entes tienen un lugar y un tiempo, el movimiento no puede existir sin lugar y sin tiempo. Y tampoco se da en vano pues en el universo aristotélico nada se mueve al azar sino en virtud de un *telos*. Todo lo que se mueve lo hace, o bien naturalmente o bien, violentamente, bajo la acción de otro agente; así mismo, todo ente del mundo sublunar posee a la vez un principio de actividad y otro de pasividad: es, a la vez, motor y móvil.

El movimiento es continuo como también lo es el ente móvil. Es de esta continuidad de la que proviene la continuidad del tiempo; y esto se debe a la estrecha correlación que se da entre magnitud –entendida como distancia o longitud espacial- movimiento y tiempo. Correlación que será fundamental en la concepción aristotélica de tiempo y su explicación: partiendo de las premisas de que todo lo que cambia es necesariamente divisible y de que el movimiento es divisible de dos modos –según el tiempo y según el movimiento de cada una de las partes del móvil- puesto que todo movimiento está en el tiempo y todo movimiento es divisible –lo

---

<sup>26</sup> PREVOSTI MONCLÚS, A. *La física d'Aristòtil. Una ciencia filosòfica de la natura*. Barcelona: PPU, 1984, p. 306. (Traducción propia).



que implica que a un tiempo menor le corresponde un movimiento menor- necesariamente se desprende que todo movimiento es divisible en relación al tiempo tanto como en relación a la magnitud.

En cuanto a si el movimiento tiene primer momento, Aristóteles explica que, puesto que, como ya apuntábamos, todo lo que cambia lo hace de un término a otro término y, en todo ser movido, una parte está en el primer término y la otra en el término final del movimiento o del cambio, no existe un comienzo del cambio, y menos aún en el tiempo: no hay un primer momento en el cual la cosa se haya puesto a cambiar pues si ese momento existiera habría de ser indivisible y ello daría como resultado que los instantes serían contiguos entre sí. Tampoco hay un término primero de cambio verificado respecto del sujeto que cambia pues, una vez más, todo lo que cambia es divisible. Y, del mismo modo en cuanto al tiempo: no hay término primero del tiempo que cambia: lo que cambia, cambia en un intervalo de tiempo que podemos dividir indefinidamente. Sin embargo, no ocurre lo mismo con respecto al último momento del cambio “pues un cambio puede realmente ser completado y hay un fin del cambio, y se ha mostrado que este fin es indivisible por ser un límite. Pero con respecto al comienzo no lo hay en absoluto, pues no hay un comienzo del cambio ni hay un primer “cuando” en el que comenzó el cambio.<sup>27</sup> Nuestro parecer respecto a este particular es que este argumento no es suficientemente consistente ya que considerar un último momento en el movimiento también obligaría a afirmar un momento indivisible y, por tanto, un momento contiguo en dicho movimiento, en la misma medida que ocurre con el momento primero.

Se distinguen, pues, tres elementos en el cambio: el sujeto, el campo de acción del cambio y el término final. En aquello que tiene continuidad y, por tanto, es divisible en sí y no accidentalmente, no hallaremos nunca un momento primero. Si un intervalo de tiempo fuera indivisible habría, como decimos, contigüidad entre cosas carentes de partes. Según esto, el cambio cuantitativo, que tiene lugar en el continuo, no tiene un momento inicial.<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> ARISTÓTELES. *Física* VI 236a 10-21.

<sup>28</sup> Sin embargo, en el cambio cualitativo sí puede darse este momento inicial puesto que la forma o cualidad no es divisible en sí sino accidentalmente. Sólo en este movimiento puede existir un indivisible en sí.

Aristóteles se apoya en el tiempo para demostrar la continuidad del movimiento aunque también afirmará que la continuidad del tiempo le viene de la continuidad del movimiento. Así, la argumentación aristotélica sigue estos tres pasos:

1º Todo lo que cambia, cambia en el tiempo. El cambio se produce, necesariamente, en una parte cualquiera del primer tiempo del cambio. Esta afirmación la demuestra dividiendo el intervalo de tiempo primero en dos partes. Si no se mueve ninguna de las dos partes, estará en reposo en el todo. Como no está en reposo, es necesario que se mueva en cualquiera de las partes del primer tiempo del cambio.

2º Todo lo que se mueve debe haber pasado por estados anteriores de movimiento verificado (divisibilidad indefinida).

3º Lo que ha consumado su cambio ha debido estar antes en trance y disposición de cambiar porque todo aquello que ha consumado su cambio desde un término hacia otro ha consumado su cambio en el tiempo, es decir, en un intervalo de tiempo.

En el caso del cambio cualitativo, si nos fijamos en el tiempo en que el cambio cualitativo se ha consumado vemos que es necesario que el ente que ha consumado su cambio esté en trance de cambiar y que lo que esté en trance de cambiar haya sido antes un cambio consumado, siendo uno anterior al otro y viceversa sin ser posible nunca determinar cuál es el primero.

Por consiguiente, lo que ha cambiado tiene que haber estado cambiando y lo que está cambiando tiene que haber cambiado: el cumplimiento del cambio (el “haber cambiado”) es anterior al proceso de cambio (al “cambiar” o “estar cambiando”) y a su vez el proceso es anterior al cumplimiento: jamás podremos captar cuál de los dos es el primero.<sup>29</sup>

Así, pues, no hay un inicio, un momento inicial del movimiento o del cambio dado que toda magnitud y todo tiempo son infinitamente divisibles.

La contrariedad hace referencia principalmente a la relación entre dos términos, mientras que la contradicción considera un único término aislado. Contrariedad y

---

<sup>29</sup> ARISTÓTELES. *Física* VI 237b 3-9.

contradicción tienen en común el hecho de que no puede encontrarse a la vez términos contrarios en un mismo sujeto. Pero únicamente en la relación de contrariedad es posible definir el cambio entendido como proceso delimitado entre dos términos. Y, además de los contrarios, el movimiento requiere un sustrato o elemento permanente sobre el que se dé la relación de contrariedad entre ambos términos: es lo que permanece en lo que cambia, el sujeto del que se predica todo cambio y que permite que éste no sea desde un absoluto no-ser. Como señala Albert Arisó, no se trata de una mera yuxtaposición de determinaciones, sino que se da una transición causal pues el cambio no se produce desde una determinación hacia cualquier otra sino que se da entre determinaciones del mismo género ya que los entes tienen una disponibilidad o forma inherente dispuesta para el cambio.

La materia aristotélica, pues, no es simplemente receptáculo pasivo del cambio, de la dialéctica de los contrarios. En ella se encuentra el impulso del cambio “en el que la privación deja de tener un carácter substancial y adquiere el carácter de no-ser relativo a la forma que se va a obtener.”<sup>30</sup>

Pero Aristóteles no sólo analiza el cambio desde la perspectiva de la contrariedad sino también desde la perspectiva de la continuidad. En su libro IV de la Física, en su réplica a las aporías de Zenón establece la diferencia entre contradicción y contrariedad en base a que, mientras ésta última admite grados intermedios, entre los términos de la contradicción no se da esta posibilidad. Así, la relación de contrariedad admite una multiplicidad de partes que son exteriores unas a otras, en un orden de coexistencia tal que los contrarios pueden residir a la vez, ya no en un mismo punto –carente de partes- pero sí en el intervalo –*diástema*- delimitado por el ente que es sujeto del cambio y que, en tanto que móvil, tiene partes y es en virtud de esto que tiene extensión. La oposición por contrariedad enmarca el límite en el que se dan los cambios.

Como señala Arisó, el movimiento como oposición de contrarios se establece cuando éste se describe mediante conceptos como potencia y acto, materia y forma o inicio y fin, mientras que el cambio, entendido como continuidad se considera cuando se pone en relación al móvil con el lugar y el tiempo. Y, así como privación, materia y forma constituyen los principios fundamentales del movimiento, la consideración de las categorías de lugar, tiempo y entidad será lo que nos proporcione la clasificación de los distintos tipos de movimiento.

---

<sup>30</sup> ARISÓ, A. *Nuevas respuestas a viejas preguntas*. Barcelona: PEUB, 2013, p. 71.

Una vez mostrado que un continuo nunca se puede reducir a indivisibles analizará los tres tipos de continuo que intervienen en el movimiento de una entidad: magnitud, tiempo y movimiento, considerando los tres bajo la misma categoría de cantidad continua y mostrando la correlación existente entre las divisiones de todas ellas. La constatación del movimiento se da junto con la de la continuidad de la magnitud o extensión y la del tiempo, cuya infinita divisibilidad se pone de manifiesto a través del movimiento de un móvil. Así, pues, el movimiento continuo permite superar la contradicción inherente a todo cambio.

Y es que es la continuidad del movimiento lo que permite efectuar la división del tiempo. Por otra parte, la demostración de que un móvil tiene partes extiende la continuidad al propio ente móvil que, de este modo, y en tanto que sustrato divisible en partes, se convierte en el elemento que media en la relación que se establece entre los diferentes elementos del movimiento, véase, la magnitud y el tiempo. Este carácter compuesto de las entidades móviles junto con el movimiento continuo impide que el tránsito sea instantáneo: los entes móviles, en tanto están compuestos de partes, siempre recorren intervalos continuos. La posibilidad de que un ente carente de partes sea sujeto de movimiento o cambio –afirma Arisó– afectaría al modo en que concebimos el tiempo. El movimiento de una entidad tal sería “un movimiento instantáneo avanzando instante a instante que pasaría a estar compuesto de horas. Mientras el cuerpo esté compuesto de partes, es imposible que pueda trasladarse instantáneamente en *kínesis*.”<sup>31</sup>

De hecho, autores como G. E. L. Owen<sup>32</sup> consideran que esta exigencia de que el movimiento se produzca en un intervalo de tiempo y nunca en un “ahora” o instante es lo que impidió a Aristóteles desarrollar la idea de velocidad instantánea:

Hay movimiento bajo la forma de posiciones sucesivas alcanzadas en diversos momentos del tiempo, nunca bajo la forma de movimiento efectivamente en curso. Un móvil se mueve continuamente si no está ausente en el dominio en el que se mueve.  
[...]

De aquí no hemos de inferir que el móvil no tenga lugar en cada tramo del recorrido. La concepción aristotélica del movimiento no admite que el móvil carezca de lugar mientras se mueve, aunque deje abierta la posibilidad de que el lugar no esté

---

<sup>31</sup> ARISÓ, A. *Nuevas respuestas a viejas preguntas*. op. cit. p. 76.

<sup>32</sup> OWEN, G. E. L. *Aristotelian Mechanics, Logic, Science and Dialectic*, citado en ARISÓ, A. op. cit. p. 77.

determinado puntualmente, en el interior de un intervalo. Cuando considera un movimiento, lo que está determinado es el todo del intervalo,<sup>33</sup>

Y, *el todo del intervalo*, tanto de lugar como de tiempo. Lo contrario, considerar las posiciones puntuales o los instantes como partes del tiempo, tiene como consecuencia directa las paradojas de Zenón, como veremos más adelante.

El movimiento de traslación es el que pone de manifiesto la unidad entre los distintos tipos de movimiento que se dan en el mundo aristotélico: tanto la teoría de los lugares naturales como la cosmología basada en la noción de motor son un ejemplo de su preponderancia.

La cosmología aristotélica se fundamenta en el concepto de movimiento según el cual todo lo que se mueve es movido por otro y, a su vez, es motor. Y, si los movimientos hacia arriba y hacia abajo son propios del mundo sublunar, el movimiento circular lo es de las esferas celestes, cuyo engranaje arrastra concéntricamente el movimiento entre unas y otras, siendo las más externas motor del movimiento de las inmediatamente interiores. Sin embargo, en el exterior se da una peculiaridad.

Y como lo que está en movimiento y mueve es intermedio, hay ciertamente algo que mueve sin estar en movimiento y que es eterno, entidad y acto. Ahora bien, de este modo mueven lo deseable y lo inteligible, que mueven sin moverse. Y los primeros de éstos se identifican. [...] Y puesto que hay algo que mueve siendo ello mismo inmóvil, estando en acto, eso no puede cambiar en ningún sentido. El primero de los cambios es el movimiento local, y de éste el circular. De un principio tal penden el universo y la naturaleza.<sup>34</sup>

Ha de existir, pues, una causa eterna del movimiento, puesto que éste es eterno, y puesto que tal causa ha de ser eternamente activa, esencialmente en acto e inmaterial. Y, puesto que Aristóteles afirma que el acto es anterior a la potencia, ha de estar en acto porque si estuviera en potencia no estaría actuando necesariamente siempre. Y, tras reafirmar la tesis de que el acto es anterior a la potencia, afirma la regularidad eterna de los movimientos del universo.

---

<sup>33</sup> ARISÓ, A. *ibid.*

<sup>34</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* XII 1072a 22-25-1072b 5-15.

Esta causa es el primer motor inmóvil, que es una entidad inmaterial: causa eficiente del movimiento sin fin de todo el universo que, por esta misma razón, es un universo eterno; un primer principio cuya entidad es puro acto y un universo que, además de carecer de fin carece de un inicio pues se trata de un universo increado.

si el acto es anterior a la potencia, no hubo Caos y Noche durante un tiempo infinito, sino eternamente las mismas cosas, bien cíclicamente, bien de otro modo. Y si eternamente existe lo mismo de modo cíclico, algo debe permanecer eternamente actuando del mismo modo. Y si ha de haber generación y corrupción, tendrá que haber otra cosa eternamente actuando de modos distintos, [...] Y ciertamente ésta es la causa de lo que eternamente actúa del mismo modo, mientras que otra es la causa de lo que es de modos distintos, y ambas, obviamente, (son causas) de lo que eternamente es de modos distintos.<sup>35</sup>

El primer motor inmóvil es primero, no cronológica sino ontológicamente. Aunque es eterno y externo al mundo, su eternidad tiene un cierto carácter temporal. Para Aristóteles las cosas eternas existen, no fuera del tiempo, sino durante un tiempo infinito. La eternidad para Aristóteles vendría a ser algo así como una duración infinita: “Hay, por consiguiente, en el cosmos, la eternidad del ser y la eternidad del devenir; pero, por la inescindibilidad que los liga recíprocamente en el cosmos, también el ser de éste cae en el tiempo y su eternidad es infinitud temporal”.<sup>36</sup> Para Aristóteles, pues, tanto el mundo como el movimiento -y, por lo tanto, también el tiempo-, ni tuvieron un principio ni tendrán fin:

Es más ¿cómo podría existir el tiempo si no existiera el movimiento? Porque si el tiempo es el número del movimiento, e incluso un cierto movimiento, y puesto que el tiempo existe siempre, entonces es necesario que el movimiento sea eterno. [...] Pero si el tiempo no puede existir ni se puede pensar sin el “ahora”, y si el “ahora” es un cierto medio, que sea a la vez principio y fin, el principio del tiempo futuro y el fin del tiempo pasado, entonces el tiempo tiene que existir siempre. Porque el extremo del último tiempo que podemos tomar tiene que ser algún “ahora” (pues en el tiempo no podemos captar nada fuera de “ahora”). En consecuencia, puesto que el “ahora” es a la vez principio y fin, tiene que haber necesariamente un tiempo en ambas direcciones. Pero si es así para el tiempo, es evidente que también tiene que serlo para el movimiento, ya que el tiempo es una afección del movimiento.<sup>37</sup>

---

<sup>35</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* XII 1072a 6-17.

<sup>36</sup> MONDOLFO, R. *El infinito en el pensamiento de la antigüedad clásica*. Buenos Aires: Imán, 1952, p.100.

<sup>37</sup> ARISTÓTELES. *Física* VIII 251b 12-15, 18-28.

En este pasaje se utilizan dos argumentos de muy distinta naturaleza para demostrar la eternidad del tiempo: por un lado se afirma que el tiempo no puede tener un comienzo debido a que no se puede concebir un comienzo del tiempo; el hacer referencia a un instante concreto obliga necesariamente a concebir un instante anterior a aquél y otro que le sea posterior, y esto impide pensar o concebir tanto un primer momento como uno que sea el último de la serie. Y puesto que para Aristóteles lo que es inconcebible es imposible, el tiempo ha de ser eterno. Por otra parte, el tiempo no puede tener comienzo porque no lo puede tener el movimiento y éste, a su vez, porque el mundo no puede tenerlo. Y en este aspecto – adelantándonos a lo que comprobaremos más adelante en este trabajo cuando tratemos sobre el concepto de tiempo de la teoría de la relatividad- podemos afirmar la contemporaneidad de la concepción aristotélica del tiempo y del movimiento: si no hubiera movimientos o cambios no habría tiempo, y para que haya movimiento o cambio debe haber cosas concretas que se muevan o cambien, que sean sujeto de cambio:

Ahora bien, no hay movimiento fuera de las cosas, pues lo que cambia siempre cambia o sustancialmente o cuantitativamente o cualitativamente o localmente, y, como hemos dicho, no hay nada que sea común a tales cambios y no sea un “esto” o una cantidad o una cualidad o alguna de las otras categorías. Así pues, no hay movimiento ni cambio fuera de los que hemos dicho, ya que no hay ninguno que se encuentre fuera de lo que hemos dicho.<sup>38</sup>

## 1.4 Continuidad e infinito

Como ya se ha visto, pues, la continuidad está implícita en el movimiento y en el cambio en general y es con ella que se nos impone la noción de infinito. “El movimiento parece ser uno de los continuos, y lo primero que se manifiesta en lo continuo es el infinito. Por eso sucede a menudo que quienes definen lo continuo utilizan la noción de “infinito”, ya que entienden por “continuo” lo que es divisible hasta el infinito”.<sup>39</sup>

En un intento de definir conceptos, en el libro XIII de la *Metafísica* dice Aristóteles que posee cantidad lo que es divisible en partes internas, cada una de las cuales es por naturaleza *algo uno* y *algo determinado*. Lo que es potencialmente divisible en

---

<sup>38</sup> ARISTÓTELES. *Física* III 200b 34-36.

<sup>39</sup> ARISTÓTELES. *Física* III 200b 19.

partes discontinuas –afirma- es la pluralidad, mientras que lo divisible en partes continuas se conoce como magnitud. A su vez, la magnitud que es continua en una dimensión es longitud, la que lo es en dos es latitud, y la que lo es en tres es profundidad. Por otra parte, en esta misma línea, diremos que la pluralidad limitada es número, la longitud es línea, la latitud es superficie y la profundidad es cuerpo. Y, de entre todos estos conceptos, el movimiento y el tiempo son afecciones de la magnitud entendida como la extensión del móvil, que Aristóteles asocia con el concepto de lugar.

Las nociones de dimensión, lugar o materia son nociones que se apoyan en la existencia del ente móvil que constituye la naturaleza o *physis*. El lugar aristotélico no es otra cosa que el límite de un cuerpo envolvente; como el tiempo, pertenece a los cuerpos, no a un espacio vacío hipotético cuya posibilidad niega Aristóteles de forma explícita: el lugar es una categoría entre otras que se predica de la substancia y la dimensión de los cuerpos no tiene entidad física, de lo contrario caeríamos en el absurdo de remitirnos a un infinito de lugares de lugares y de dimensiones de dimensiones. El espacio como recipiente, como continente, separado e independiente de los cuerpos, que postulaba el atomismo clásico y que posteriormente rescatará la física clásica bajo el paradigma newtoniano es radicalmente negado por Aristóteles.

En la noción de lugar -que, como la del tiempo, también es derivada en Aristóteles- intervienen otros conceptos como el de materia, forma, extensión o intervalo. Y en este contexto, el vacío, caracterizado por propiedades como la homogeneidad, conllevaría la ausencia de límites en un cosmos que Aristóteles define como cualitativamente ordenado. Aunque el movimiento local parece invitar a concebir esta noción de vacío como pura extensión independiente de los cuerpos móviles que la ocupan eventualmente, sin embargo, Aristóteles afirma que no existe una extensión sin cuerpo, que no delimite nada: toda dimensión es siempre corpórea. De hecho, para Aristóteles el vacío no es necesario para explicar el movimiento. Como afirma Rigau, para Aristóteles “la extensión geométrica no puede ser más que una propiedad de los cuerpos: la magnitud o la dimensionalidad abstractamente considerada; por ello rechaza el espacio como extensión realizada a modo de entidad anterior al ente mismo, esforzándose por definir al lugar.”<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> RIGAU, M. *Lugar y espacio*. Barcelona: PPU, 1986, p. 239.



El tiempo aristotélico, por su parte, posee cantidad accidentalmente porque es una afección del movimiento, que la posee del mismo modo por ser, a su vez, afección de la magnitud:

De las cosas que se dice que poseen cantidad accidentalmente, de algunas se dice en el mismo sentido en que decíamos que músico o blanco poseen cantidad, porque posee cantidad el sujeto en que se dan; de otras, a su vez, en el sentido en que la poseen el movimiento y el tiempo: de éstos se dice, en efecto, que poseen cantidad, y que son continuos, porque es divisible aquello de lo cual son afecciones. Y me refiero con esto, no a lo que se mueve, sino al espacio en el cual se mueve: al tener cantidad éste, la tiene también el movimiento, y al poseerla este último, la tiene, a su vez, el tiempo.<sup>41</sup>

Pero veamos, pues, en qué consiste la continuidad. Continuo *-synechés-* dice Aristóteles, es lo infinitamente divisible. En el libro IV de la *Física* nos aclara este concepto partiendo de una serie de definiciones necesarias para establecer la distinción de la continuidad frente a otros conceptos. Así, pues, Aristóteles aclara que dos cosas están en *contacto* cuando sus extremos están juntos. Mientras que *consecutivo* es lo que no está separado de la cosa a la que sigue por ningún intermedio del mismo género, pudiendo haber un intermedio de distinto género, es *contiguo* aquello que, además de ser consecutivo, está en contacto. Hay *continuidad*, sin embargo, cuando los límites en que dos cosas se tocan no son más que una y la misma cosa.

Así, el continuo se halla en las cosas que tienden naturalmente a ser una en cuanto entran en contacto. Y, si bien todo lo que está en contacto es consecutivo no todo lo que es consecutivo está en contacto. Así, en el caso de los números, no hay contacto pero sí hay consecutividad. La continuidad, pues, implica por necesidad el contacto pero el contacto no implica la continuidad: los extremos pueden estar juntos sin formar una unidad pero no pueden formar una unidad sin estar juntos.

La continuidad, por lo tanto, consiste en la infinita divisibilidad y Aristóteles se percató de que todo cuerpo sensible, en tanto que moviente, en tanto que capaz de movimiento o cambio, debe ser divisible necesariamente y esto se debe a que

como todo cambio es desde algo hacia algo, y cuando una cosa está en aquello hacia lo cual ha cambiado no cambia ya más, y cuando está en aquello desde lo cual

---

<sup>41</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* V 1020a 27-32.

cambia, tanto en sí mismo como en todas sus partes, la cosa todavía no cambia (porque lo que está en una misma condición, tanto en sí mismo como en sus partes, no está cambiando), se sigue entonces que la cosa que cambia tiene que estar parcialmente en aquello hacia lo cual cambia y parcialmente en aquello desde lo cual cambia (ya que no es posible que lo que está cambiando esté enteramente en ambos o no esté en ninguno).<sup>42</sup>

No se puede decir, por otra parte, que los extremos de dos puntos constituyen una sola cosa, pues no se puede ni siquiera decir que un punto tiene extremos ya que en un ente indivisible, que no tiene partes, no puede darse algo que sea distinto de dicho ente, como sí ocurriría si tuviera extremos; en general, un extremo es siempre algo distinto de aquello de lo que es extremo. Por eso mismo una línea no se compone de un agregado o una serie de puntos:

Si un continuo estuviera hecho de puntos, estos puntos tendrían que ser necesariamente continuos entre sí o bien estar en contacto entre sí; el mismo razonamiento se puede hacer sobre todos los otros indivisibles. [...] Y en cuanto al contacto, dos cosas sólo pueden estar en contacto recíproco si el todo de una toca al todo de la otra, o si una parte de una toca el todo de la otra. Pero como los indivisibles no tienen partes, tendrían que tocarse entre sí como un todo con un todo. Ahora, si fuera como un todo que toca a un todo, no se trataría entonces de un continuo; porque lo que es continuo tiene partes distintas y puede ser dividido en esas partes, que son entonces diferentes y están separadas en cuanto al lugar.<sup>43</sup>

Así pues, del mismo modo que no puede haber consecución entre dos puntos de manera que formen una línea, tampoco la puede haber entre los instantes para dar lugar al tiempo. Como ha dejado sentado Aristóteles, son consecutivas las cosas entre las que no hay ningún intermedio del mismo género, y entre dos puntos se interpone siempre una línea, como entre dos instantes siempre hay un intervalo de tiempo. Los puntos y los instantes son siempre el límite: de una línea el primero, de un intervalo de tiempo el segundo, pero nunca son los componentes de éstos. Los puntos no pueden ser continuos porque, como los indivisibles no tienen partes, tendrían que tocarse entre sí como un todo con un todo; pero, en tal caso, no podrían formar un continuo puesto que lo que es continuo tiene partes distintas y puede ser dividido en esas partes.

Ningún continuo, por tanto, es divisible en indivisibles –es decir, en algo que carezca de partes-: todo continuo es divisible en partes siempre divisibles. Así, todo

---

<sup>42</sup> ARISTÓTELES. *Física* VI 234b 10-16.

<sup>43</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 231a 30- 231b 6.

movimiento es continuo en tanto que es divisible y, puesto que es continuo, es uno. Si bien podemos decir que un punto *constituye* una línea y un instante constituye el tiempo, no es correcto afirmar que uno y otro los *componen*.

Y, dado que la magnitud -o la distancia que recorre un móvil- está compuesta de divisibles, esto es, dado que es infinitamente divisible, el movimiento realizado sobre ella también lo es y se compone de movimientos divisibles infinitamente. Y, puesto que, a igual velocidad, un cuerpo recorre menos distancia en menos tiempo, el tiempo será también divisible infinitamente.

En definitiva: la continuidad del tiempo y la de la magnitud son correlativas por mediación de la continuidad del movimiento. La continuidad del tiempo -su divisibilidad infinita- es lo que explica el hecho de que, aunque todo movimiento siempre se puede hacer más y más lento, no exista un momento primero en el cual el móvil que se detiene sea detenido. En lo que respecta al movimiento y la detención, ninguna de sus partes puede considerarse primera en la transición entre el movimiento y el reposo y viceversa.

Y, por otra parte, lo que se está deteniendo tiene que detenerse en alguna parte del tiempo primero en el que llega a detenerse porque, si el tiempo fuese dividido en dos partes, si no llegase a detenerse en ninguna de las dos no se podría detener en el tiempo total, de lo que resultaría que lo que se está deteniendo no se detendría. [...] Y así como no hay un primer tiempo en el cual se mueva lo que está en movimiento, tampoco hay un primer tiempo en el cual se detenga lo que se está deteniendo, pues no hay un tiempo primero en lo que está en movimiento ni en lo que está deteniéndose.<sup>44</sup>

También se da la continuidad a lo que está en reposo porque sólo se puede hablar de reposo cuando aquello que tiene en su naturaleza la capacidad de moverse, no se mueve. Un ser está en reposo cuando permanece en un mismo estado durante un cierto tiempo, tanto él mismo como cada una de sus partes; y al decir *un cierto tiempo* hablamos de *una serie sucesiva de partes del tiempo*, de un intervalo de tiempo. Si estuviera en uno sólo y único de los instantes entonces no estaría durante ningún tiempo en una situación definida y dada, sino en lo que no es sino límite del tiempo: *nada reposa y nada se mueve en el instante*. En el instante, afirma Aristóteles, no son posibles ni el movimiento ni el reposo porque el instante no es tiempo sino límite del tiempo.

---

<sup>44</sup> ARISTÓTELES. *Física VI* 238b 32- 239 a 3.

Y así decimos que una cosa está en reposo cuando en uno y otro momento se puede decir con verdad que está en un mismo lugar, la cosa misma y sus partes. Y si eso es estar en reposo, es imposible que algo que cambie esté como un todo sobre una cosa particular en el tiempo en que primariamente cambia; pues como todo tiempo es divisible, se podrá decir con verdad que en una y otra parte de ese intervalo la misma cosa y sus partes estarán en el mismo lugar.<sup>45</sup>

A partir de estas premisas Aristóteles puede rebatir las aporías de Zenón quien, a su entender, se equivoca al suponer que todo ser está, en un *instante* dado, en reposo o en movimiento y que está en reposo cuando está en un espacio igual a sí mismo. Y, al suponer, por lo tanto, que todo aquello que se mueve con movimiento de traslación está siempre en el instante, una flecha en movimiento –en el caso de la aporía de la flecha- está siempre inmóvil. Pero esto no es cierto, afirma Aristóteles, ya que los instantes, en tanto que indivisibles, no componen el tiempo:

Zenón cae en un paralogismo cuando dice: si siempre todo lo que está en un lugar igual a sí mismo está en reposo, y si lo que se desplaza está siempre en un “ahora” entonces la flecha que vuela está inmóvil. Esto es falso pues el tiempo no está compuesto de “ahoras” indivisibles, como tampoco ninguna otra magnitud está compuesta de indivisibles.<sup>46</sup>

En este punto de nuestro estudio nos detendremos en los propios argumentos en los que Zenón plantea sus aporías del movimiento y con las que Aristóteles establece su discusión en torno a las nociones de continuo e infinito. Como señala Burnet:

El sistema de Parménides hacía imposible el movimiento, y sus sucesores se habían visto forzados a abandonar la hipótesis monista para evitar esta consecuencia tan importante. Zenón no aporta nuevas pruebas a la imposibilidad del movimiento; todo lo que hace es mostrar que una teoría pluralista como la pitagórica hace tan difícil de explicarlo como la de Parménides. Visto así, los argumentos de Zenón no son simples argucias, sino que marcan un gran avance en la concepción de la cantidad.<sup>47</sup>

Estos célebres argumentos nos han llegado a través de Platón y Aristóteles. El primer texto en el que se tiene noticia de los argumentos de Zenón es en el *Parménides* de Platón, donde Sócrates expresa la intención de Zenón de demostrar la no existencia de la pluralidad de cosas frente a la unidad del ser:

---

<sup>45</sup> ARISTÓTELES. *Física VI* 239a 27-239b 1.

<sup>46</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 239b 5-9.

<sup>47</sup> BURNET, J. *L'aurora de la filosofia grega*. Girona: Barcelonesa d' Edicions. Universitat de Girona, 2010, p 279.

¿Es esto lo que se proponen tus argumentos? ¿Sostener enérgicamente, contra todo lo que suele decirse, que no hay multiplicidad? ¿Y supones que cada uno de tus argumentos es prueba de esto mismo, y crees en consecuencia, que tantas son las pruebas que ofreces de que no hay multiplicidad cuantos son los argumentos que has escrito?<sup>48</sup>

A continuación, dirigiéndose a Parménides, Sócrates afirma la identidad entre ambos discursos, el de Parménides y el de Zenón, en los siguientes términos:

Porque lo que él ha escrito es, en cierto modo, lo mismo que tú, pero, al presentarlo de otra manera, pretende hacernos creer que está diciendo algo diferente. En efecto, tú, en tu poema, dices que el todo es uno, y de ello ofreces bellas y buenas pruebas. Él, por su lado, dice que no hay multiplicidad, y también él ofrece pruebas numerosísimas y colosales. Uno, entonces afirma la unidad, mientras que el otro niega la multiplicidad, y, así, uno y otro se expresan de modo tal que parece que no estuvieran diciendo nada idéntico, cuando en realidad dicen prácticamente lo mismo,<sup>49</sup>

Más tarde Aristóteles expondrá, en el capítulo noveno del libro VI de la *Física*, los argumentos atribuidos a Zenón en contra de la posibilidad racional del movimiento. Kirk, Raven y Schofield afirman que, si bien no se conoce realmente cómo Zenón organizó los argumentos, una interpretación ampliamente aceptada -aunque no de forma unánime- consiste en la suposición de que éstos se agrupan en dos pares tales que

un par (el Estadio y Aquiles) suponía que el espacio y el tiempo eran infinitamente divisibles, el otro (la Flecha y las Filas en Movimiento) suponía que constaban de mínimos indivisibles; uno de los argumentos de cada par reducía al absurdo la idea del movimiento, en sí mismo considerado, de un cuerpo, el otro la idea de su movimiento en relación con el movimiento de otro cuerpo.<sup>50</sup>

Por otra parte, Eugeni D'Ors, en *Las aporías de Zenón de Elea*, recoge también la idea de que la agrupación de los argumentos de Zenón en estas dos clases responde al criterio, en el primer caso, de la afirmación de la infinita divisibilidad de la extensión y, en el segundo caso, de la afirmación de la finita divisibilidad de los elementos que componen la extensión.<sup>51</sup>

---

<sup>48</sup> PLATÓN. *Parménides* 127e-128a.

<sup>49</sup> PLATÓN. *op. cit.* 128b.

<sup>50</sup> KIRK, G. S.; RAVEN, J. E.; SCHOFIELD, M. *Los filósofos presocráticos*. Madrid: Gredos, 1987, p. 380.

<sup>51</sup> D'ORS, E. *Las aporías de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo*. Madrid: Ediciones Encuentro, 2009, p. 51.

Como decíamos, es en el capítulo noveno del libro VI de la *Física* donde Aristóteles expone los argumentos de Zenón en contra de la posibilidad racional del movimiento. Veamos, pues, los términos de la exposición aristotélica.

En primer lugar se ocupa del argumento conocido como el de la *partición* o *dicotomía* que “afirma la no existencia del movimiento sobre la base de que el móvil debe llegar a la mitad del camino antes de llegar al final”.<sup>52</sup> En esta aporía la imposibilidad del movimiento se debe a que el corredor que debe recorrer la primera mitad de la distancia total, antes deberá recorrer la primera mitad de esa primera parte, pero esa mitad también debe ser dividida en dos partes antes de ser recorrida. Debido a esto, el móvil nunca comenzará a moverse pues esta división no puede tener fin. Y al rebatir esta aporía Aristóteles se remite a la noción de infinito potencial:

De ahí que sea falsa la argumentación de Zenón al suponer que los infinitos no pueden ser recorridos o que no es posible tocar una a una un número infinito de partes en un tiempo finito. Porque tanto la longitud como el tiempo, y en general todo continuo, se dice que son infinitos de dos maneras: o por división o por sus extremos. Ciertamente, no es posible durante un tiempo finito tocar cosas que sean infinitas por su cantidad, pero se las puede tocar si son infinitas por su división, porque en este sentido el tiempo mismo es infinito, y las infinitas cosas no son tocadas en un tiempo finito sino en infinitos intervalos de tiempo.<sup>53</sup>

En el segundo argumento de Zenón -la aporía conocida posteriormente, a partir de la mención de Simplicio, como la de Aquiles y la tortuga- Aquiles -que es, evidentemente, el más rápido de los dos- se encuentra en una posición que da ventaja a la tortuga y debe alcanzar el punto de partida de ésta que, siendo más lenta, sin embargo algo se ha movido hacia adelante. Aquiles, para alcanzar a la tortuga, deberá alcanzar antes la posición en que ésta se encontraba cuando comenzó la carrera. Cuando esto ocurre, la tortuga ya no se encuentra en ese punto sino un poco más adelante, en otra posición que Aquiles también deberá alcanzar antes que a la tortuga. Y de este modo, Aquiles nunca llega a alcanzar a la tortuga.

Este argumento es el mismo que el dicotómico, aunque con la diferencia de que las magnitudes sucesivamente tomadas no son divididas en dos. La conclusión es que el corredor más lento nunca será alcanzado y el procedimiento es el mismo que el del argumento por dicotomía (pues en ambos casos se concluye que no se puede llegar al

---

<sup>52</sup> ARISTÓTELES. *Física* IX 239b 11.

<sup>53</sup> ARISTÓTELES. *Física* VI 233a 22-31.

límite si se divide la magnitud de cierta manera, aunque en éste se añade que incluso el corredor más veloz según la tracción tiene que fracasar en su persecución del que es más lento);<sup>54</sup>

En estas dos aporías la magnitud es sucesivamente reducida y en ambos casos se concluye que no es posible llegar al límite. En este sentido Eugeni D'Ors señala que “no se trata, para salir de la aporía, de saber *cuándo* Aquiles alcanza a la tortuga, sino de saber *cómo* la alcanza. El *cómo* sólo puede ser, teóricamente, con un trayecto a través de todos los puntos que componen” la última parte de la distancia que le separa de la tortuga. “Si el número de puntos es infinito, Aquiles jamás podrá *haberlos recorrido* todos y, por consiguiente jamás podrá haber llegado al término.”<sup>55</sup> Aristóteles, a continuación, afirma que “es falso pensar que el que va por delante no puede ser alcanzado; ciertamente no será alcanzado mientras vaya delante, pero será alcanzado si se admite que la distancia a recorrer es finita”.<sup>56</sup>

En cuanto a la tercera aporía, la de la Flecha, “la flecha que vuela está en reposo. Ya que si todo lo que está en reposo ocupa un espacio igual a sí mismo, y lo que vuela está en un momento dado ocupando un espacio igual a sí mismo, no puede moverse”.<sup>57</sup> Ésta, en trance de ser lanzada y trasladarse, está en estado estático y se concluye que no se mueve debido a la presuposición de que el tiempo se compone de una suma de instantes: “El tercero, ya mencionado antes, pretende que la flecha que vuela está detenida. Esta conclusión sólo se sigue si se admite que el tiempo está compuesto de “ahoras”, pero si no se lo admite la conclusión no se sigue.”<sup>58</sup> Y, a continuación, añade:

Zenón argumenta con falacia, porque si, dice, todo está siempre en reposo, cuando está frente a lo que es igual y lo que está en movimiento está siempre en el ahora, la flecha en movimiento está inmóvil. Pero esto es falso: pues el tiempo no se compone de “ahoras” indivisibles, como tampoco ninguna otra magnitud.<sup>59</sup>

Sin embargo, en este punto Kirk, Raven y Schofield apuntan que Aristóteles se aventura al afirmar que Zenón presupone en este argumento la indivisibilidad del espacio y del tiempo y lo consideran responsable de que se haya extendido esta

---

<sup>54</sup> ARISTÓTELES. *Física VI* 239b 17-25.

<sup>55</sup> D'ORS, E. *Las aporías de Zenón*. *op. cit.* p. 55.

<sup>56</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 239b 26-29.

<sup>57</sup> BURNET, J. *L'aurora de la filosofía grega*. *op. cit.* p. 280.

<sup>58</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 239b 30-33.

<sup>59</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 239b 30-33, en KIRK, G. S.; RAVEN, J. E.; SCHOFIELD, M. *Los filósofos presocráticos*. Madrid: Gredos, 1987, p. 390.

interpretación de la aporía de la flecha. Pero –afirman- este argumento no requiere necesariamente la asunción de esta premisa respecto de la estructura del espacio y el tiempo. “La validez de su inferencia sólo requiere que lo que es verdad de algo *en todo momento* de un período de tiempo lo sea *durante todo* el período”.<sup>60</sup> En opinión de estos autores esta aporía ataca la idea de que el movimiento deba ocurrir en el presente ya que ésta no parece coherente con la idea de que lo que se mueve en el presente no puede estar recorriendo ninguna distancia. Esta interpretación – continúan- podría deberse al hecho de que Zenón y Aristóteles manejan dos nociones distintas de “ahora” -una como duración presente y la otra en tanto que instante indivisible, como límite entre el pasado y el futuro-. Y es, precisamente este argumento de Zenón el que obliga a hacer esta diferenciación entre los posibles significados de “ahora”.

Y, por último, el cuarto argumento de Zenón, llamado también, el del *estadio* o de *filas en movimiento*, Aristóteles lo plantea en los siguientes términos:

El cuarto argumento supone dos series contrapuestas de cuerpos de igual número y magnitud, dispuestos desde uno y otro de los extremos de un estadio hacia su punto medio, y que se mueven en dirección contraria a la misma velocidad. Este argumento, piensa Zenón, lleva a la conclusión de que la mitad de un tiempo es igual al doble de ese tiempo. El paralogismo está en pensar que un cuerpo ocupa un tiempo igual en pasar con igual velocidad a un cuerpo que está en movimiento y a otro de igual magnitud que está en reposo; pero esto es falso. Por ejemplo, sean AAAA cuerpos en reposo de igual magnitud, BBBB cuerpos en movimiento de igual número y magnitud que los AAAA y que parten desde un extremo de los AAAA, y sean CCCC cuerpos en movimiento iguales en número, magnitud y velocidad que los BBBB y que parten desde el otro extremo. Se siguen entonces tres consecuencias. En primer lugar, cuando los BBBB y los CCCC se crucen entre sí, el primer B habrá alcanzado al último C en el mismo momento en que el primer C haya alcanzado al último B. En segundo lugar, como en ese momento el primer C habrá pasado a todos los B pero sólo a la mitad de los A, su tiempo en pasar a la mitad de los A será la mitad del tiempo ocupado para pasar a todos los B, ya que el primer C (dice Zenón) tendrá que ocupar un tiempo igual para pasar a cada uno de los B que para pasar a cada uno de los A. En tercer lugar, en ese mismo tiempo todos los B habrán pasado a todos los C; porque, como el primer C ocupa el mismo tiempo para pasar a cada uno de los A y a cada uno de los B (así dice Zenón), el primer C y el primer B alcanzarán

---

<sup>60</sup> KIRK, G. S.; RAVEN, J. E.; SCHOFIELD, M. *Los filósofos presocráticos*. Madrid: Gredos, 1987, p. 391.



simultáneamente los extremos del estadio, ya que cada uno de ellos ocupa un tiempo igual para pasar a cada uno de los A.<sup>61</sup>

En otras palabras, el escenario consiste en tres filas compuestas por grupos de cuerpos, todos iguales entre sí. El primer grupo permanece en reposo mientras que los otros dos se mueven en sentidos opuestos, a la misma velocidad uniforme, el uno dirigiéndose hacia el otro, y se cruzan en el espacio en que el primer grupo está en reposo. Ocurrirá entonces que en el mismo intervalo de tiempo en que un cuerpo de la tercera fila pasa por el espacio que ocupa un cuerpo de la primera, habrán pasado dos cuerpos de la segunda en la dirección contraria. Y esto parece apuntar a la divisibilidad del instante.

Aristóteles rebate las aporías de Zenón afirmando, por un lado, que en el cambio el sujeto del cambio estará necesariamente en uno o en otro de los opuestos, pero nunca estará totalmente en ninguno de los dos. De otra parte, como ya vimos, ni el tiempo está compuesto de instantes, ni la línea de puntos, ni el movimiento de movimientos consumados, puesto que todos ellos son continuos. Y, como también hemos visto con Aristóteles, ni el punto ni cualquier indivisible pueden ser movidos: es imposible que un ser movido recorra una extensión superior a la suya antes de recorrer otra que sea igual o menor que la suya. Pero como el punto es indivisible, no puede haber recorrido de antemano un espacio menor que él mismo. Deberá recorrer un espacio igual al suyo y, si esto es así, entonces la línea se compondrá de puntos. Pero esto es imposible, por lo tanto, el indivisible no se puede mover.

Luego, si un punto se moviese, tendría que haber un tiempo menor que el tiempo en el cual se hubiese movido (sobre algo igual a sí mismo). Pero esto es imposible, ya que en un tiempo menor necesariamente tendría que haberse movido sobre algo menor que sí mismo, y entonces lo indivisible sería divisible en algo más pequeño que sí mismo, así como el tiempo es divisible en tiempos más pequeños. Porque sólo hay una manera en que podría moverse lo que no tiene partes y es indivisible, a saber: que se pudiera mover en un "ahora" indivisible;<sup>62</sup>

La argumentación que hace Aristóteles sigue los siguientes pasos: a) si todo se mueve en el tiempo y nada es movido en el instante y b) si todo el tiempo es divisible, entonces, c) existirá un tiempo más pequeño en el cual el ser móvil se mueve, pero d) si el punto se mueve, entonces habrá un tiempo más pequeño en el

---

<sup>61</sup> ARISTÓTELES. *Física* VI 239b 33-240a 18.

<sup>62</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 241a 19-24.

que se ha movido. Esto remite a una distancia menor y hace, por tanto, al punto divisible en partes. Pero esto es imposible. En consecuencia se concluye e): el punto no se mueve.

Llegados a este punto, no queremos dejar pasar la oportunidad de hacer mención de la voz disidente que representa Eugeni D'Ors en lo que a la continuidad se refiere. Su defensa de una perspectiva intelectualista frente a la postura aristotélica, de carácter empírico-intuicionista, le sitúa en una posición más afin a Parménides y Zenón que al Estagirita. Así, en esta línea, afirmará que toda la argumentación de Zenón,

En su significación más íntima se trata de una crítica a fondo contra la inteligibilidad de la idea de continuidad. Como si el poderoso atleta de la dialéctica previese la posición de todos sus críticos, hasta de los más modernos, ha rehusado en estas lacónicas palabras de la aporía (tres líneas ocupa únicamente en Aristóteles) toda beligerancia a un elemento empírico que, con apariencia de racionalidad, podía introducirse en la discusión. *Entre el reposo y el movimiento no hay término medio posible. Nada de continuidad, nada de devenir. Nada de duración pura, nada de evolución creadora, nada de infiltraciones de la intuición en el problema. El espacio, en su clara inteligibilidad. El tiempo, en su clara inteligibilidad. Hay aquí una ortodoxia racionalista celosamente guardada: toda flecha lanzada ocupa, en un instante, un lugar en el espacio. Toda cosa que ocupa un lugar en el espacio está en reposo. Luego, toda flecha lanzada está en reposo.*

¿Qué solución oponer a este razonamiento, para no salirse de lo puro racional? Sólo cabe una. Admitir que, en efecto, la flecha en el espacio avanza a través de una suma de reposos. Admitir la realidad metafísica del punto. Rechazar, a la vez que se rechaza el fantasma de la continuidad, el fantasma del infinito".<sup>63</sup>

En lo que respecta al infinito, al hilo de esta contraposición entre un punto de vista intuicionista y otro racionalista, y retomando el discurso del Estagirita, señalaremos que éste considera que, puesto que la ciencia física – o ciencia de la naturaleza- se ocupa del estudio de las cantidades, de los movimientos y los tiempos ésta debe plantearse en primer lugar si cada uno de ellos es finito o, por el contrario, es infinito. Y para abordar dicha cuestión encuentra dos posibles perspectivas que son contrapuestas: una física, si atendemos a su naturaleza, y otra lógica, si prestamos atención a los conceptos. El infinito, dice, se entiende en varios sentidos, a saber: por un lado es lo que no puede ser trascendido ni excedido porque no es naturalmente apto para ser abarcado o medido. Esto nos remitiría a un hipotético

---

<sup>63</sup> D'ORS, E. *Las aporías de Zenón. op.cit.* p. 60.

espacio infinito. Por otra parte, el infinito se puede entender como aquello cuya evolución no tiene término, o bien, apenas lo tiene, o bien lo puede tener por su naturaleza, pero no lo tiene de hecho: aquí hablaríamos de un tiempo infinito. En esta línea dice Antoni Prevosti:

Es preciso introducir, pues, la necesaria distinción de sentidos del ser. Hay que decir que las partes que en el movimiento se recorren de una en una son las partes actuales, mientras que las partes en tanto que sólo son en potencia no son recorridas efectivamente de una en una, sino más bien como quien dice todas de golpe, esto es, no en una sucesión de actos, sino en un solo acto: un único movimiento continuo. Ahora bien, las partes actuales nunca serán infinitas, sino en número finito, y por eso el recorrerlas de una en una tiene un término. En cambio el número infinito de partes no significa nada más que una posibilidad infinita de subdividir, que excluye, sin embargo, la posibilidad de un estado de división infinita actual; las partes infinitas, pues, sólo son en potencia, y pueden ser recorridas, como hemos dicho, en un solo acto.<sup>64</sup>

Como señala Aristóteles en el libro tercero de la *Física*, algunos filósofos antiguos consideraron el infinito como uno de los principios de la naturaleza mientras que otros afirmaban su existencia substancial. Pero Aristóteles se pregunta: si existe el infinito ¿existe como substancia o más bien como accidente inherente a un sujeto? Y ¿existe una magnitud sensible infinita? Cuestiones a las que responderá negativamente: el infinito no existe en acto como entidad, no tiene existencia en sí separada e independiente de los cuerpos sensibles. Pero tampoco existe como cuerpo sensible. “La infinitud siempre se atribuye a un sujeto en relación a un movimiento determinado, que Aristóteles caracteriza con la palabra *recorrer*. En este verbo *recorrer* se centra toda la problemática del infinito. Lo que naturalmente puede ser recorrido es lo continuo y sensible. Esto es, pues, el sujeto propio de la infinitud”.<sup>65</sup> El infinito no existe sino como propiedad o afección que se predica de un sujeto -igual que el tiempo es una afección del movimiento-. Y es que el infinito no puede existir en acto:

Pues en tal caso cualquier parte que se tomara de él sería infinita (ya que si fuera una entidad y no se predicara de un sujeto, lo infinito y ser-infinito serían lo mismo) y, por consiguiente, sería, o bien indivisible, o bien divisible en partes infinitas, si tuviera partes. Pero es imposible que la misma cosa conste de muchos infinitos (pues así como la parte del aire es aire, así la parte del infinito sería infinita, si fuera entidad y principio). Luego es sin partes e indivisible. Es imposible que lo infinito plenamente

---

<sup>64</sup> PREVOSTI MONCLÚS, A. *La física d'Aristòtil. op.cit.* p. 321. (Traducción propia).

<sup>65</sup> PREVOSTI MONCLÚS, A. *La teoría del infinito de Aristóteles*. Barcelona: PPU, 1985, p. 84.

actualizado sea tal ya que necesariamente ha de ser cantidad, luego se da en otro como accidente.<sup>66</sup>

Si definimos como cuerpo aquello que, teniendo extensión en todas direcciones está limitado por superficies, no puede haber cuerpos infinitos pues el infinito se extiende sin límite en todas direcciones. Por otra parte, el universo aristotélico, que es finito y esférico, determina a priori tres posibles tipos de movimientos simples: el rectilíneo del centro al extremo -de abajo hacia arriba- que corresponde a los cuerpos ligeros cuyo lugar natural es la periferia del universo; el rectilíneo que va desde la periferia de la esfera al centro -de arriba hacia abajo- que es el propio de los cuerpos pesados, cuyo lugar natural es el centro -ambos se dan en la región sublunar- y el circular, alrededor del centro, que corresponde a los cuerpos celestes, ni ligeros ni pesados.

La definición aristotélica del tiempo pone en relación los aspectos cualitativos y cuantitativos del movimiento. Por un lado, la *kinesis*, representada por toda la cadena o serie de motores-móviles que explican el movimiento del cosmos; por otro lado, la *dynamis*, como la potencia motriz que inclina a los cuerpos a buscar su lugar natural, y la potencia interna que es propia de la materia en tanto es en ella donde radica la disposición a adquirir la forma, la disposición hacia el cambio. Dinámica vs cinemática: ambas están presentes en el universo aristotélico.

El aspecto cuantitativo del movimiento de los cuerpos pesados -hacia abajo- y ligeros -hacia arriba- únicamente determina su mayor o menor rapidez, pero nunca puede determinar su orientación o sentido que, como decimos, es de carácter radicalmente cualitativo. Esta *inclinación* de los cuerpos Newton la llamará *peso* y la hará relativa a la distancia entre las masas, interpretándola como el efecto de la atracción entre ellas con lo que la gravedad-levedad deja de ser una propiedad intrínseca de la materia para residir en una fuerza exterior a los cuerpos.

Para Aristóteles todo movimiento o cambio está referido a su forma específica, lo que lo inscribe, lo hace radicar constitutivamente en las propias entidades. Debido a ello, el tipo de movimiento está asociado cualitativamente al propio ente en función de su configuración hylemórfica, en la que no sólo interviene la materia -*hylé*- sino también la forma -*morphé*-. Así, el movimiento de los cuerpos adquiere una u otra orientación -dirigiéndose hacia arriba o hacia abajo- y ordena el cosmos en base a

---

<sup>66</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* XI 1066b 11-19.

los cuatro elementos, cuya distinción no es de carácter cuantitativo sino radicalmente cualitativo. Lo que hacen los cuerpos en su desplazamiento según su inclinación o tendencia natural hacia su lugar natural no es sino dirigirse hacia su propia forma específica.

La gravedad-levedad, en este escenario, es el efecto en los cuerpos en tanto que se relacionan con su lugar natural. Y la inclinación o tendencia se entiende en virtud de la propia morfología del cosmos, que es lo que determina su estructura cualitativamente ordenada, ejerciendo así, de causa final. Y este cosmos morfológicamente estructurado de forma cualitativa, en regiones, necesita tener límites para poder establecer en él la diferenciación cardinal; en un universo infinito esto no sería posible.

En general, es imposible que sea infinito un cuerpo, y que lo sea el lugar de los cuerpos, si todo cuerpo sensible posee peso o ligereza. Pues se moverá o hacia el centro o hacia arriba; pero es imposible que el infinito, ya sea todo ello, ya su mitad, sea afectado de ninguna de estas maneras. Pues ¿cómo dividirlo? O ¿cómo lo infinito podría tener un arriba y un abajo, o un extremo y un centro? Además, todo cuerpo sensible está en un lugar, y hay seis especies de lugar, y es imposible que éstas existan para un cuerpo infinito.<sup>67</sup>

Todos ellos son movimientos determinados por la búsqueda del lugar natural hacia el que tiende todo cuerpo físico. Pero en un universo infinito, o para un cuerpo infinito, no habría tales determinaciones, no habría posiciones absolutas y, por lo tanto, el movimiento resultaría indeterminado, lo que no sería coherente con la idea aristotélica del movimiento, que obedece a un fin: la búsqueda del lugar natural que cada cuerpo tiene en el universo. Así, sostiene Aristóteles que es imposible que el infinito exista como algo dotado de existencia actual, ni como substancia, ni como principio. Una vez más: el infinito se da en las cosas como accidente y, más aún, se da en cosas que, como el número y la magnitud, tampoco tienen existencia independiente como la tienen las substancias.

Además, el ser se dice en muchos sentidos, por lo que no hay que tomar el infinito como un individuo particular, como un hombre o una casa, sino en el sentido en que hablamos del día o de la competición, cuyo ser no es como el de algo que llega a ser

---

<sup>67</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* XI 1067a 23-30.

una substancia, sino que está siempre en generación y destrucción, finito en cada caso, pero siempre diferente.<sup>68</sup>

Sin embargo, Aristóteles reconoce que de la no existencia del infinito también se derivan algunos absurdos: el tiempo tendrá un principio y un fin, las magnitudes no serán divisibles en magnitudes y el número no podrá ser infinito. Así, Aristóteles dirá que el infinito existe en un sentido y no existe en otro sentido, explicando su existencia en términos de potencia y acto: no existe una magnitud que sea infinita en acto pero sí en virtud de su divisibilidad potencial. Puede, pues, existir el infinito en potencia y su esencia es la privación.

El infinito tiene, como el tiempo, un carácter más de proceso que de cosa; como el tiempo, también tiene más de accidente que de substancia. En la medida en que un cuerpo –que es finito- aparece infinitamente dividido, las sucesivas adiciones de esta infinita división parecen converger hacia el cuerpo finito.<sup>69</sup>

Así pues, el infinito no tiene otro modo de realidad que éste: en potencia y por reducción. Y existe actualmente en el sentido en que decimos que el día o la competición existen; y existe potencialmente, como la materia; pero no existe por sí mismo, como existe lo finito”.<sup>70</sup>

El infinito existe sólo potencialmente y se da en el orden de la divisibilidad. Y aunque es cierto que es concebible el infinito por adición –pues siempre será posible concebir algo fuera, algo más allá de un límite- sin embargo “lo que se tome nunca superará toda magnitud finita, a diferencia del infinito por división, en el que toda magnitud finita es superada en pequeñez y siempre quedará una parte más pequeña”.<sup>71</sup> Un infinito en el orden de la adición no puede existir ni siquiera potencialmente al no existir el infinito en acto. En lo que se refiere a los números, tampoco existe la infinitud por disminución. Para Aristóteles hay un número que es el primero y constituye un límite en la disminución: el uno.

*El infinito no es aquello fuera de lo cual no hay nada sino aquello fuera de lo cual siempre existe aún algo.* Se trata, pues, de aquello en que tomada una determinada cantidad, siempre es posible concebir algo más fuera de ella. Por el contrario, aquello fuera de lo cual no existe nada, aquello a lo que no le falta nada, es el *todo* y, por eso mismo, es perfecto. Para Aristóteles no puede haber nada perfecto si no

---

<sup>68</sup> ARISTÓTELES. *Física* III 206a 30-35.

tiene límite, si no está completo y el infinito es *potencialmente* un todo, pero no es un todo en *acto*.

Por otra parte, no hay un infinito que sea el mismo para el tiempo, la magnitud y el movimiento. El movimiento es infinito gracias a que lo es la magnitud según la que se mueve y, a su vez, lo es el tiempo en función del carácter infinito del movimiento. También en cuanto a esta propiedad, el movimiento, el tiempo y la magnitud se siguen entre sí. Así, puesto que todo ser movido se mueve en el tiempo no es posible que un movimiento tenga lugar en un tiempo infinito a lo largo de una trayectoria finita. Lo mismo ocurre a la inversa: en un tiempo finito no puede haber ni movimiento ni reposo infinitos.

Las nociones de magnitud y de tiempo, como todo lo continuo en general, son infinitas en los dos sentidos anteriores: como infinito cuantitativo en la adición y como infinito cualitativo en la división. Es imposible abarcar el infinito cuantitativo en un tiempo finito. Pero los infinitos en la divisibilidad sí pueden ser abarcados en un tiempo finito puesto que el tiempo también es él infinito de esta manera, cualitativamente, en la divisibilidad. En consecuencia: es en un tiempo infinito y no en un tiempo finito como se puede recorrer el infinito, y si se abarcan infinitos, es siempre por medio de infinitos, nunca por medio de finitos. Y, como hemos visto, este razonamiento es el que permite a Aristóteles rebatir el argumento de la dicotomía de Zenón: la imposibilidad de recorrer un número infinito de puntos hay que referirla al infinito por composición pero no al infinito según la divisibilidad. Pero Zenón no conoce esta distinción.

## 1.5 Número y medida

El concepto de número ocupa un lugar central en la definición aristotélica de tiempo, que es –recordemos- el número del movimiento según lo anterior y lo posterior. El tiempo es algo del movimiento sólo en tanto que el movimiento contiene número. Es por medio del tiempo que distinguimos más o menos cantidad de movimiento y es en este sentido que el tiempo es número. Así, el tiempo es un tipo de número y cuando hablamos de número podemos referirnos tanto a lo numerado/numerable,

---

<sup>69</sup> Idea que, más tarde, Newton y Leibniz serán capaces de representar mediante el cálculo infinitesimal.

<sup>70</sup> ARISTÓTELES. *Física* III. 206b 13-16.

<sup>71</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.*. 206b 18-20.

como a lo numerante, es decir, aquello que efectúa la acción de numerar. Aristóteles se refiere aquí al número en el primer sentido, como lo numerado/numerable, lo contado, lo medido en tanto que es medido o medible. Y, como afirma Jesús Conill Sancho, -cuyo discurso seguiremos en gran medida en este apartado- el número es intermediario entre el movimiento y el tiempo:

Aristóteles no sólo quiere decir que hay una correspondencia (analogía) entre el tiempo y el instante (así como entre el movimiento y el móvil), sino también que esta correspondencia (analogía) existe porque el tiempo y el instante se predicán del movimiento y del móvil. A partir de esta base entra en juego el número, que hace aquí de mediación.<sup>72</sup>

Como señala Eugeni D'Ors Aristóteles distingue entre dos clases de unidades: la mónada, que es indivisible y carece de posición, y el punto, que es también indivisible pero sí tiene posición, lo que implica que tiene extensión. Según el Estagirita los pitagóricos tienen esta última manera de concebir la realidad, a diferencia de la concepción aristotélica de punto inextenso. De este modo los pitagóricos geometrizaron la aritmética -pues para ellos las propiedades de los números tenían su origen en las figuras planas- y con ello la geometría transmitía a la aritmética su carga intuitiva y sensitiva. Los números pitagóricos son abstracciones dotadas de rasgos sensitivos, están pegados a las cosas físicas; se trata del número entendido como pluralidad en tanto que colección de unidades.<sup>73</sup> Pero esta visión del mundo será contrariada por los eléatas, encabezados por Parménides, con su concepción de la unidad, la continuidad y el todo inmóvil en detrimento de la pluralidad, la discreción y el movimiento.

En este tiempo, los estudios de los irracionales, las consideraciones de límite y de infinito, que implica al menos el paso del polígono al círculo, iban a consagrar una generalización de la idea de número que cambia totalmente el aspecto del saber matemático. La cosmología ayuda a este movimiento. Un poeta-filósofo, Jenófanes, había cantado la unidad del ser. Y los pensadores que se apoderaron de esta idea y la hicieron fecundar ya no pudieron ver en la unidad una parte, sino un todo y la esencia

---

<sup>72</sup> CONILL SANCHO, J. *El tiempo en la filosofía de Aristóteles*. Valencia: Series Valentina, 1981, p. 201.

<sup>73</sup> En torno a los números pitagóricos existe una extensa bibliografía, entre la que destacamos títulos como: REY PASTOR, J., *El Historia de la Matemática*. Vol. 1. Barcelona: Editorial Gedisa, 1997; BUENO MARTÍNEZ, G., *La metafísica presocrática*. Oviedo: Pentalfa, 1974; GARCÍA BAZÁN, F., *La concepción pitagórica del número y sus proyecciones*. Buenos Aires: Biblos, 2005; GONZÁLEZ URBANEJA, P. L., *Pitágoras: el filósofo del número*. Madrid: Nívola Libros y Ediciones S. L., 2007.



misma del todo; ya no pudieron ver en el número una serie de unidades, sino una máscara de apariencia tras de la cual se oculta la unidad.<sup>74</sup>

Con ello el criterio de la razón se erige sobre el de los sentidos. En este camino que toma el pensamiento occidental, de una progresiva abstracción en dirección al racionalismo, Descartes hará una importante aportación cuando, al reducir la materia a pura extensión –*res extensa*- disuelve la cualidad en cantidad: la geometría analítica cartesiana eliminará los rasgos cualitativos para explicarlos en términos de cantidad.

Pero el número de la definición aristotélica de tiempo tiene un carácter cualitativo y, si es también medida, lo es sólo de modo derivado: “Es necesario distinguir entre tiempo como número y tiempo como medida. El primero constituye lo esencial del tiempo: la numerabilidad del movimiento. El carácter de medida es derivado y Aristóteles lo refiere al movimiento del cielo, dada la peculiar uniformidad de éste”.<sup>75</sup>

Para Aristóteles, el instante -como el punto- no tiene dimensión y no es parte del tiempo como tampoco el punto es parte de la línea; y así como las partes de una línea son trozos de línea, las partes del tiempo son trozos de tiempo: el tiempo no se compone de una suma de instantes, como la línea no es una suma de puntos. Por el contrario, el punto para los pitagóricos sí tiene dimensión, lo que les permite considerar las unidades dotadas de magnitud de manera que el universo pitagórico se constituye con números matemáticos. Como dice Burnet:

Esta manera de considerar el punto, la línea y la superficie, está en estrecha relación con la práctica de representar los números mediante puntos ordenados en patrones simétricos, que ya hemos visto que hay motivos para atribuir a los pitagóricos. La geometría ya había hecho avances considerables, pero la vieja idea de la cantidad como suma de unidades aún no había sido revisada, y por eso el punto se identificaba con el número 1 en lugar de hacerlo con el 0.<sup>76</sup>

Aristóteles, sin embargo, considera que, del mismo modo que el punto, a la vez que delimita la línea por ser principio de una parte y fin de otra, también la divide y, por eso, la hace continua, también el ahora confiere continuidad al tiempo. El tiempo es el número del movimiento y el ahora –afirma Conill- viene a ser la unidad de este número, como el móvil es la unidad del movimiento. Y, puesto que el límite, el extremo de algo, no es parte de ese algo sino accidentalmente, el instante – o el

<sup>74</sup> D'ORS, E. *Las aporías de Zenón. op. cit.* p. 30.

<sup>75</sup> CONILL SANCHO, J. *El tiempo en la filosofía de Aristóteles. op. cit.* p. 303.

<sup>76</sup> BURNET, J. *L'aurora de la filosofía grega. op. cit.* p 255.

*ahora*- en tanto que es límite, es decir, en tanto que separa el pasado del futuro, lo anterior y lo posterior, no es tiempo sino que se da accidentalmente pero, en tanto que cuenta, que mide, que numera lo anterior y posterior en el movimiento, es número.

Puesto que el tiempo es *número*, nos interesa conocer qué tipo de entidad es el número para Aristóteles. Si en el tratado de la *Física* se ocupa de cuál es el estatuto ontológico de las cosas sensibles, en la *Metafísica* se ocupará de la entidad y existencia de otras cosas como las realidades matemáticas. Estas últimas, si existen, han de existir necesariamente en una de estas dos modalidades: o bien en las cosas sensibles o separadas de ellas.

Pues bien, Aristóteles discute y rechaza ambas tesis: las que afirman que las entidades matemáticas existen en las cosas sensibles y, también, las que afirman que poseen existencia separada e independiente de aquéllas. Las entidades matemáticas existen, afirma, por abstracción. En concreto, si los números tuvieran existencia separada la tendrían no sólo los números de las entidades sensibles sino también los números de las entidades inteligibles –números de números- y, de este modo, habría infinitos géneros de números matemáticos. Por otra parte, lo que es posterior en el generarse es anterior en el ser y viceversa, ya que la perfección se halla al final del proceso. Y ambos argumentos se inscriben en el marco de la consideración que tiene Aristóteles de los entes abstractos como de inferior categoría ontológica.

Y es que si las afecciones no existen aparte de las entidades –por ejemplo, estar en movimiento o blanco-, “blanco” será anterior a “hombre-blanco” en cuanto a la definición, pero no en cuanto a la entidad, puesto que no puede existir separado, sino que siempre se da conjuntamente en el compuesto (y llamo “compuesto” al hombre blanco).

[...] ni son entidades en mayor grado que los cuerpos, ni son anteriores a las cosas sensibles en el ser, sino sólo en la definición, ni pueden existir separadas en modo alguno. Y puesto que tampoco es posible que sean en las cosas sensibles, es evidente que o no son, sin más, o son en cierto modo y, por tanto, no son en el sentido absoluto del término. Pues “ser” lo decíamos en muchos sentidos.<sup>77</sup>

En el ámbito de las matemáticas podemos decir que sus objetos (números, líneas, superficies, etc.) existen, pero no separados de los cuerpos sensibles, y tampoco en

---

<sup>77</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* XIII 1077b 4-17.

acto. Existen potencialmente, en la medida en que pueden convertirse en objeto de consideración. Su actualización resulta de un acto de abstracción o separación.

La mejor manera de estudiar cada cosa consiste en que uno tome, separándolo, lo no separado, lo cual hacen el aritmético y el geómetra. Desde luego, el hombre, en tanto que hombre, es uno e indivisible; pues bien, aquél lo toma como uno indivisible y estudia, a continuación, si al hombre, en tanto que indivisible, le corresponde alguna propiedad; el geómetra, por su parte, no estudia propiedades suyas ni en tanto que hombre ni en tanto que indivisible, sino en tanto que sólido, pues las propiedades que le corresponderían si no fuera indivisible pueden, evidentemente, corresponderle también prescindiendo de aquellas otras.<sup>78</sup>

A partir de estas premisas, Aristóteles criticará la teoría de las ideas de Platón:

Pero la aporía más importante con que cabe enfrentarse es: ¿de qué sirven las Formas para las cosas sensibles, tanto para las eternas como para las que se generan y corrompen? Desde luego no son causas ni de su movimiento ni de cambio alguno suyo. Pero es que tampoco prestan auxilio alguno, ni en orden a la ciencia de las demás cosas (no son, en efecto, su entidad: si lo fueran estarían en ellas) ni respecto de su ser, toda vez que no son inmanentes en las cosas que de ellas participan.

[...] Y decir, por otra parte, que ellas son modelos, y que de ellas participan las demás cosas, no es sino proferir palabras vacías y formular metáforas poéticas.<sup>79</sup>

En la *Metafísica* se nos ofrece una exposición de las distintas teorías que se dan acerca del estatuto ontológico de los números. De entre éstas, los pitagóricos afirman la existencia de un solo tipo de número, el número matemático, que no tiene existencia separada sino que compone las cosas sensibles. Según Aristóteles Platón afirma la existencia de dos clases de números: los números ideales y el número matemático, ambos separados de las cosas sensibles. La diferencia entre ambos tipos de número radica en que los números matemáticos difieren entre sí sólo cuantitativamente mientras que los números Ideales son cualitativamente distintos unos de otros; los primeros son infinitos mientras que cada número ideal es único. Según esto, si las unidades se consideran todas ellas combinables entre sí, solamente darán lugar a números matemáticos, pero no a números ideales.

Así, el número matemático *cuatro* consiste en la combinación de cuatro unidades indiferenciadas mientras que el número ideal *cuatro* consiste en la idea de *cuatro* en sí misma. Y aquí se manifiesta la distinción que Aristóteles señala entre número y

<sup>78</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* XIII 1078a 15-28.

<sup>79</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 1079b 13-26.

unidad: mientras que las unidades no pueden ser entre sí ni cuantitativa ni cualitativamente diferentes, las diferencias cualitativas entre los números son consecuencia de sus diferencias cuantitativas. Y a este respecto se pregunta Aristóteles “Cuando contamos y decimos uno, dos, tres, ¿contamos añadiendo unidades, o según clases distintas? Pues bien, lo hacemos de ambos modos y, por tanto, es ridículo hacer de esta diferencia una diferencia tamaña en cuanto a la entidad”.<sup>80</sup>

Además de rechazar la atribución del carácter de subsistentes a los números, Aristóteles rebatirá las afirmaciones pitagóricas que defienden su existencia como realidades primeras y constitutivas de la realidad del resto de las cosas:

La explicación de los Pitagóricos comporta menos dificultades que las anteriormente expuestas, pero comporta, por otra parte algunas que le son propias. En efecto, el no separar el número elimina muchos imposibles. Imposible es, sin embargo, que los cuerpos estén compuestos de números y que tal número sea el Matemático. Pues no es verdadera la afirmación de que hay magnitudes indivisibles, y aun suponiendo que así fuera, desde luego que las unidades no tendrían magnitud. Por otra parte, ¿cómo una magnitud podría componerse de indivisibles? Y, sin embargo, el número matemático consta de unidades. Pero ellos dicen que son Número las cosas que son o, en todo caso, aplican los teoremas matemáticos a los cuerpos como si éstos estuvieran compuestos de tales números.<sup>81</sup>

Si los cuerpos se compusieran de números, las unidades, como elementos últimos de los mismos, habrían de ser magnitudes, y magnitudes indivisibles. Pero no hay magnitudes indivisibles. Y en todo caso, suponiendo que las hubiera, las unidades aritméticas carecen de magnitud. El número es pluralidad, una pluralidad de indivisibles mientras que la magnitud, que es un continuo, no puede estar constituida de elementos indivisibles. La propuesta pitagórica de la existencia de los números en estos términos es rechazada por Aristóteles:

Y es que pensaban que las realidades sensibles singulares fluyen y ninguna de ellas permanece y que, por el contrario, el universal existe separado fuera de ellas y es otra cosa. El universal, como decíamos más arriba, lo puso en marcha Sócrates mediante las definiciones, si bien no lo separó, ciertamente, de los individuos. Y razonó correctamente al no separarlo. En efecto, sin lo universal no es posible alcanzar la

---

<sup>80</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* XIII. 1082b 34-37.

<sup>81</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 1083b 11-18.

ciencia, pero separarlo es la causa de las dificultades que sobrevienen acerca de las Ideas.<sup>82</sup>

Es decir, el hecho de que los teoremas matemáticos se cumplan en las cosas sensibles no significa que las entidades matemáticas existan separadas, porque los objetos sobre los que versan dichos teoremas son las cosas sensibles mismas en tanto que poseen determinaciones cuantitativas respecto de las cuales se ejerce la abstracción matemática.

En definitiva, el número para Aristóteles no es una realidad subsistente, independiente de las cosas realmente existentes. Como el resto de entidades abstractas, está en las cosas en la medida en que se predica de las cosas y su realidad es, por lo tanto, subsidiaria, tanto de éstas como de la acción del sujeto que numera. Y, como veremos en el siguiente apartado, el instante sólo puede considerarse unidad de tiempo en tanto que entendamos la unidad como inextensa que, como el punto, es límite que constituye un continuo, no parte que compone.

## 1.6 El instante

El instante o el *ahora* –*nûn*- constituye una noción fundamental en el discurso aristotélico por lo que es clave investigar cuál es su naturaleza y qué papel juega en la noción de tiempo pero, antes, intentaremos determinar qué *no es* el instante. Con este objeto seguiremos aquí también la investigación realizada por Jesús Conill.

Para algunos pensadores -como Bachelard<sup>83</sup>- la duración es una adición de instantes sin duración. El tiempo –que se entiende aquí como duración- sólo es perceptible por sus instantes porque lo que la memoria registra es el instante y no la duración. Esta defensa de la primacía del instante tiene como consecuencia una concepción discontinua del tiempo. El tiempo estará, así, compuesto de instantes y la duración. En este contexto –afirma Bachelard- sería más adecuado decir *todas las veces* en lugar de *siempre*. Este punto de vista considera el continuo temporal como una mera extrapolación metafísica que no tiene fundamento en lo real. Nuestra experiencia es discontinua y su discontinuidad refleja la discontinuidad de la propia realidad. La construcción del tiempo se debe a la adición de instantes. Se

---

<sup>82</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* XIII 1086a 38-1086b 7.

<sup>83</sup> Gastón Bachelard (1884-1962) desarrolla una exploración de la problemática del tiempo en su obra *La intuición del instante*. México: Fondo de Cultura Económica, 1999.

trata de una representación del tiempo que es más aritmética que geométrica. Es lo presente, lo instantáneo, lo que se considera real, no la duración o el intervalo, mientras que, por el contrario, otros pensadores, como Bergson, consideran el instante un corte artificial siendo la duración lo verdaderamente relevante y objetivo que hay en el tiempo.

A diferencia de estas posturas Aristoteles ve en el instante lo que hace posible la continuidad del tiempo: es la propia esencia del instante lo que le confiere al tiempo su carácter continuo pues el instante es el comienzo de una parte y el fin de la otra; así, el instante es *uno* en tanto que une el pasado con el futuro, pero es *límite* en tanto que divide potencialmente el tiempo; y en el primer sentido es el mismo mientras que en el segundo es siempre distinto:

Puesto que el ahora es un fin y un comienzo del tiempo, pero no del mismo tiempo sino el fin del que ha pasado y el comienzo del que ha de venir, se sigue que, así como en el círculo lo convexo y lo cóncavo están en algún sentido en lo mismo, así también el tiempo está siempre en un comienzo y un fin, y por eso parece siempre distinto, pues el ahora no es el comienzo y el fin de lo mismo, ya que si así fuera, sería dos opuestos a la vez y bajo el mismo respecto. Y el tiempo no se extinguirá, pues está siempre comenzando.<sup>84</sup>

Y, como vemos, es este mismo rasgo esencial del instante lo que proporciona al tiempo, no sólo la continuidad sino también la ausencia de límites. Aristóteles señala que el cambio no es directamente cognoscible, sino que éste es conocido por la observación del móvil *que es antes aquí y después allí*, es decir, es el móvil lo que posibilita el conocimiento del movimiento y de lo anterior y posterior, porque el móvil tiene entidad mientras que su movimiento no la tiene. De modo análogo parece ocurrir con el instante y el tiempo: el instante es como un *esto*, pero el tiempo no lo es:

El ahora sigue a la cosa desplazada como el tiempo al movimiento, ya que es por la cosa desplazada por lo que conocemos el antes y el después en el movimiento, y conocemos que hay un ahora por ser numerables el antes y el después. Y así también en éstos, cuando es lo que es, el ahora es el mismo (pues es el antes y después en el movimiento), pero su ser es distinto, ya que obtenemos el ahora en cuanto que el antes y el después es numerable. Esto es lo más cognoscible, pues el movimiento es conocido por la cosa movida y el desplazamiento por la cosa desplazada, puesto que la cosa desplazada es un *esto*, pero no el movimiento. Por lo tanto, el ahora es en un

---

<sup>84</sup> ARISTÓTELES. *Física* IV 222b 1-7.

sentido siempre el mismo y en otro sentido no es el mismo, ya que la cosa desplazada es así.<sup>85</sup>

Aristóteles distingue dos significados para el instante estableciendo una contraposición formal entre lo que ha de ser el instante procesualmente para ser *instante* en pleno sentido, y el instante en ese pleno sentido, el instante en su esencia: por un lado, el sustrato del instante –que no se identifica con el sustrato del movimiento- y que es lo anterior y posterior en el movimiento, y, por otro lado, la esencia del instante. Y así como le ocurre al instante, que es en un sentido siempre lo mismo y en otro sentido no, también el móvil es a la vez siempre lo mismo siempre distinto. Y es en cuanto a su sustrato que el instante es el mismo pero es siempre distinto en cuanto a su esencia porque el móvil también lo es y el instante sigue al móvil.

Una vez más se manifiesta la correspondencia entre movimiento y magnitud, primero, y tiempo y movimiento, después. Correspondencia que, en otro plano, se da también entre el instante y el móvil: el instante sigue al móvil porque captamos lo anterior y posterior en el movimiento a través del móvil, y el instante es lo anterior y posterior en el movimiento en cuanto numerable. El instante sigue al móvil tanto en su esencia como en cuanto que es sustrato pues, como hemos dicho, a través del móvil conocemos lo anterior y posterior en el movimiento y esto, en cuanto numerable, es el instante. El instante depende ontológicamente del móvil, tanto en su esencia como en tanto que sustrato y, puesto que el móvil es siempre el mismo según su sustrato, también el instante es siempre el mismo según su sustrato. Por otra parte, como el móvil es siempre distinto según su esencia, también el instante es siempre distinto según su esencia. En definitiva: el anterior y posterior en cuanto fundamentado en el aquí y allí del móvil, a esto debe su origen el instante:

Aristóteles relaciona el instante con lo anterior y posterior en el movimiento. El paralelismo parece consistir en que el movimiento sólo puede ser numerado por medio del móvil: la posibilidad de numerar el movimiento presupone la posibilidad de pensar el móvil como presente en la magnitud, en una multiplicidad de puntos. Pero esto significa que el instante presupone el móvil en cuanto éste puede pensarse como presente en una multiplicidad de puntos. Por tanto, el instante es la numerabilidad del movimiento y presupone el móvil; por tanto, es así como se puede decir que el instante sigue al móvil.<sup>86</sup>

---

<sup>85</sup> ARISTÓTELES. *Física* IV 219b 13-32.

<sup>86</sup> CONILL SANCHO, J. *El tiempo en la filosofía de Aristóteles*. *op.cit.* p. 191.

El móvil, que permanece uno en el movimiento, proporciona al movimiento la unidad fundamental que es necesaria para su numerabilidad y es en virtud de esta unidad del móvil que se puede postular la continuidad del movimiento que es el fundamento de su numerabilidad, produciendo en su movimiento lo numerable en lo anterior y posterior. Está en la esencia del instante pertenecer a momentos diversos del movimiento. El instante es siempre otro porque es esencialmente un anterior y posterior. Lo que funda la unidad en el movimiento es el hecho de que el móvil está siempre presente en el movimiento: se basa, pues, en la unidad del móvil, que mantiene su identidad en la diversidad. En otras palabras: porque vemos el móvil como anterior y posterior, vemos su movimiento, y lo anterior y posterior según su ser-antes-y-después, según su ser-numerable, es el instante.

Y el instante es más cognoscible que el tiempo, así como la cosa movida es más cognoscible que el movimiento. Pero, si bien el móvil es un ente –un *esto*–, el instante no lo es. Aristóteles no concede al instante el estatuto ontológico de substancia concreta. Sin embargo, sólo percibimos tiempo en tanto que percibimos lo anterior y posterior como numerado. Y esto es el instante, lo anterior y posterior en cuanto numerado y numerable. Sólo percibimos tiempo, por tanto, cuando percibimos el instante.

El instante es el número de lo movido como el tiempo es el número del movimiento: el instante es un predicado de la cosa movida como el tiempo es un predicado del movimiento. Sin embargo el tiempo no está compuesto de un número finito o infinito de instantes como ningún continuo se compone de una finita o infinita cantidad de indivisibles. El instante, que sigue a la cosa movida, es a la numerabilidad lo que la cosa movida es al movimiento en cuanto continuo. El instante es aquello por lo que el tiempo es continuo y es lo que lo hace uno, como el punto le da a la línea su continuidad y unidad.

Pero el instante es también aquello según lo cual se divide el tiempo pues el instante delimita el movimiento anterior y posterior. El instante no es una partícula del tiempo, no es una parte del tiempo –como tampoco lo es el punto de la línea pues, así como las partes de una línea son líneas y no puntos, las partes del tiempo son tiempo y no instantes–. El instante es, pues, límite del tiempo, y lo es un cierto sentido de este término: “De modo que resulta obvio que “límite” se dice en todos



los sentidos en que se dice “principio”, y en más aún, ya que el principio es un tipo de límite, pero no todo límite es principio”.<sup>87</sup>

El instante en cuanto límite no es tiempo sino que es *algo* del tiempo, le acontece, le sucede, le sobreviene. El fin o límite no es tiempo sino que es límite de algo distinto de sí, es decir, del tiempo. Así, pues, el límite que limita el tiempo no es tiempo; por eso mismo puede ser su límite. Si no fuera fin y límite, sería tiempo. Porque el límite de algo es fin de ese algo, siendo siempre distinto del algo del que es límite, fin o extremo. El instante no es parte del tiempo porque el instante es indivisible. Si fuera divisible, entonces el ahora sería algo del pasado en el futuro y algo del futuro en el pasado. Y el instante divide al tiempo, pero no en acto sino en potencia, siendo el principio de un tiempo y el fin de otro, concentrando, así, su carácter procesual y dinámico. Por eso el instante es múltiple sólo potencialmente, es decir, sólo potencialmente es número.

Como venimos diciendo, para Aristóteles el instante es tiempo en un sentido y en otro sentido no lo es: sólo es tiempo en cuanto es múltiple en potencia, en cuanto es numerable: “en tanto que límite, el ahora no es tiempo, sino un accidente suyo; pero en tanto que numera, es número. Porque los límites son sólo de aquello de lo cual son límites, mientras que el número de estos caballos, (diez, por ejemplo) es también número en otra parte”.<sup>88</sup>

En este sentido, en cuanto límite, el instante es una determinación accidental del tiempo pues en cuanto límite, en tanto que divide, no es todavía tiempo: es tiempo en potencia.

El “ahora”, considerado en sí mismo y primariamente, no en sentido derivado, <es decir, como un lapso de tiempo>, es también necesariamente indivisible, y como tal es inherente a todo tiempo. Pues el “ahora” es de algún modo el límite extremo del pasado y en él no hay nada del futuro, y es también el límite extremo del futuro y en él no hay nada del pasado; justamente por eso decimos que es el límite de ambos. Cuando se haya mostrado que es en sí tal como lo escribimos, y que es uno y el mismo, quedará de manifiesto también que el “ahora” es indivisible.<sup>89</sup>

Si el instante fuera divisible tendría partes y una parte estaría en el pasado y otra en el futuro. Por otro lado, en tanto que límite *–peras–*, en tanto que es lo que divide al

---

<sup>87</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* V 1022a 10-12.

<sup>88</sup> ARISTÓTELES. *Física* IV 220a 21-24.

<sup>89</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 233b 33- 234a 4.

tiempo, el instante no es una cosa. El instante constituye el tiempo pero no lo compone. El tiempo no está compuesto de una adición de instantes porque el tiempo es continuo y un continuo no se compone de elementos sin partes. Además “todo continuo es de tal manera que exige la presencia de algo sinónimo entre sus límites –de la misma naturaleza y nombre que el continuo de quien es parte”, y esto implica que todo continuo debe estar compuesto de divisibles. “Es claro, entonces, después de lo dicho, que en el tiempo hay algo indivisible que llamamos “ahora” “. <sup>90</sup>

En el instante, dice Aristóteles, no hay movimiento ni reposo. Nada se mueve en el instante y nada reposa en él. Si así fuera, este movimiento podría ser más rápido o más lento. Pero entonces el instante quedaría dividido indefinidamente y esto es imposible porque el instante es indivisible. Y tampoco es posible que algo repose en el instante ya que el reposo es propio de lo que es capaz de moverse. “Pero tampoco puede haber algo que esté en reposo en un “ahora”. Porque, como hemos dicho, una cosa está “en reposo” sólo si puede estar naturalmente en movimiento, [...] puesto que nada puede estar en movimiento en un “ahora”, es claro que tampoco podrá estar en reposo en un “ahora”. <sup>91</sup> Todo lo que se mueve o reposa lo hace en el tiempo, pero no en el instante.

El instante en esta doble función de unir y dividir el tiempo sigue al móvil en su - también doble- función de unir y dividir el movimiento. Y es en virtud de esta propiedad del instante de ser el principio de un tiempo y el fin de otro que el tiempo no puede tener fin. De este modo afirma Aristóteles la eternidad del tiempo.

En definitiva, la dualidad del instante, tanto en el plano gnoseológico como en el lógico se explica en clave de potencia. El instante hace posible el tiempo en virtud de su función divisora al dividir el tiempo en pasado y futuro y siendo, a la vez, el alma, capaz de captar el instante como anterior y posterior. Por otra parte, el instante, en cuanto que une, hace continuo el tiempo. Pero el instante -que sigue al móvil- es lo anterior y posterior en el movimiento, no en cuanto que realmente numerado, sino en tanto que numerable y asegura la continuidad del tiempo en virtud del acto del espíritu, que en la actualidad del presente numera las dos partes de anterior y posterior, totalizando el tiempo. El flujo según lo anterior y lo posterior nos proporciona la diversidad. El principio de unidad, la continuidad, viene del intelecto en el acto de numerar. Sin embargo, el tiempo depende del alma en su

---

<sup>90</sup> ARISTÓTELES. *Física* IV 234a 23.

<sup>91</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 234a 32-34.

esencia, pero no en su sustrato porque ontológicamente se funda sobre el presente del móvil, siendo una propiedad de éste.

## 1.7 Tiempo y alma

Así pues, la unidad y universalidad del tiempo se fundamentan en dos elementos que se encuentran en los polos opuestos del hecho del conocimiento: el alma de un lado y el móvil, de otro. Esto plantea dificultades a la hora de responder a la pregunta por el tiempo y su verdadera naturaleza ontológica. Aquí intentaremos averiguar cuál es la relación que Aristóteles establece entre el tiempo y el alma y, una vez más, es en la *Física* donde se plantea esta cuestión:

En cuanto a la primera dificultad, ¿existiría o no el tiempo si no existiese el alma? Porque si no pudiese haber alguien que enumere tampoco podría haber algo que fuese numerado, y en consecuencia no podría existir ningún número, pues un número es o lo numerado o lo numerable. Pero si nada que no sea el alma, o la inteligencia del alma, puede numerar por naturaleza, resulta imposible la existencia del tiempo sin la existencia del alma, a menos que sea aquello que cuando existe el tiempo existe, como sería el caso si existiera el movimiento sin que exista el alma; habría entonces un antes y un después en el movimiento, y el tiempo sería éstos en tanto que numerables.<sup>92</sup>

Es evidente, como hemos visto, que el tiempo no se identifica con el movimiento. Afirma Jesús Conill que, en lo que respecta al alma, Aristóteles plantea la relación entre el tiempo y el alma como una aporía. En efecto, no habría tiempo si no hubiera alma. Sin algo capaz de numerar es imposible que haya algo numerado. Más aún, es imposible que haya algo numerable. Es imposible que haya, pues, número. No hay otra cosa que por naturaleza numere más que el alma y no es posible que haya tiempo no habiendo alma a excepción de aquello que es el sustrato del tiempo, esto es, lo anterior-posterior del movimiento. Pero el tiempo es lo anterior-posterior del movimiento *en cuanto numerable*.

Centrando los términos de esta cuestión, Antoni Prevosti afirma, en su artículo titulado *Tiempo y alma desde Aristóteles y Santo Tomás*, que

---

<sup>92</sup> ARISTÓTELES. *Física* IV 223a 21-29.

En la misma posición de la definición del tiempo, Aristóteles hace intervenir el alma. Cuando el Filósofo dice que el tiempo es “número del movimiento según lo anterior y posterior”, parece haber preparado el camino a la definición introduciendo previamente sus términos y conceptos: el movimiento y lo anterior y posterior en el movimiento; pero la palabra “número” aparece como por sorpresa, por primera vez, justo en la definición, sin preparación previa aparente. Lo que en realidad la ha preparado es un número concreto, el dos, que ha sido mencionado pocas líneas más arriba, con estas palabras: “cuando inteligimos los extremos como diferentes del medio, y el alma dice que los ahora son dos, uno antes y otro después, es entonces cuando decimos que esto es tiempo.” (219a 26-29).

El alma es, pues, la que dice que los ahora son dos; es decir, el alma ha contado, y ha encontrado un número en su percepción del movimiento. Este número es lo que Aristóteles nos dirá que es el tiempo”.<sup>93</sup>

Este fragmento de la *Física* ha suscitado interpretaciones de muy diversa índole. Desde las posiciones objetivistas que ven en él la afirmación de la existencia del tiempo independientemente del alma, hasta las más subjetivistas, que reconocen aquí la fundamental dependencia del alma que tiene el tiempo, pasando por posturas integradoras de ambas alternativas.

Para autores como Henri Carteron la diferencia que establece Aristóteles entre el tiempo numerado y el tiempo numerable es fundamental: el alma lleva a un tiempo, que es preexistente, a ser número en acto. Se trataría de algo similar a la afirmación de la existencia de los colores independientemente de la del ojo que los ve. La intervención del alma es accidental.

El tiempo es más que número, es un numerado, o por lo menos, si la existencia del alma se pone en cuestión, un numerable... el alma no interviene, pues, en la posición del tiempo más que a título secundario, haciendo del tiempo un número actual, es decir, en el fondo aportando una determinación convencional y artificial [...] igual que el color es visible en potencia, pero por sí es siempre color, incluso en ausencia de un sujeto percipiente.<sup>94</sup>

Sin embargo, nosotros nos sumamos a la opinión de Conill cuando, rebatiendo en este punto a Carteron afirma que no es acertado establecer este paralelismo entre el color y lo numerable:

---

<sup>93</sup> PREVOSTI MONCLÚS, A. *Tiempo y alma desde Aristóteles y Santo Tomás*. Córdoba: Caja Sur Publicaciones, Actas del IV Congreso Internacional de la S.I.T.A., Tomo IV. Comunicaciones. 1999, p. 1866.

<sup>94</sup> CARTERON, H. *Remarques sur la notion de temps d'après Aristote* en *Revue Philosophique de la France et de l'Étranger*. p. 78. Citado por CONILL SANCHO, J. *Op. cit.* p. 260.

No hay paralelismo entre tiempo y color; sino que, en todo caso, hay paralelismo entre tiempo y lo visible. Y la afirmación de que lo visible existe sin un sujeto que sea capaz de captarlo, significa sólo el planteamiento de la misma cuestión: de nuevo preguntarse cómo es esto posible.<sup>95</sup>

Pero el tiempo de Aristóteles es número. El número lo define y es en lo que consiste esencialmente el tiempo. Si el tiempo es número y el número depende del alma, al faltar el alma, falta un elemento esencial. Por tanto lo que hay ya no es tiempo sino otra cosa. El alma es un elemento esencial, constitutivo del tiempo, al ser número. Y Aristóteles dice que lo anterior y posterior son tiempo en cuanto numerables: lo anterior y posterior no son tiempo sino en tanto que son numerables.

Otros autores, como André-Jean Festugière (1898-1982), establecen una clara distinción entre el tiempo objetivo y el tiempo percibido, apoyándose en la distinción de Santo Tomás entre los dos elementos de que consta la realidad de lo numerable: de una parte, el móvil en el presente, que es sujeto del tiempo en su ser imperfecto, de otra el número actuado por el alma que numera, el tiempo en su esencia, en su ser perfecto. Esta clara distinción entre el número numerable y el número numerado se correspondería con un tiempo físico y un tiempo psicológico, según Festugière<sup>96</sup>. El alma únicamente intervendría en el tiempo psicológico, pero el tiempo físico es real y objetivo y tiene existencia independientemente del alma, que intervendría en la experiencia interior de la duración. Aquí la intervención del alma no incide en algo constitutivo del tiempo, sino en la duración psicológica, que no interviene para nada en la realidad constitutiva esencial del tiempo como sujeto.

Entre los autores que interpretan la teoría aristotélica del tiempo desde un punto de vista subjetivista según el cual el tiempo depende fundamentalmente del alma, Conill destaca al filósofo Karl von Prantl (1820-1888)<sup>97</sup> que afirma que el tiempo depende del alma del mismo modo que los conceptos dependen del constructor de conceptos.

---

<sup>95</sup> CONILL SANCHO, J. *El tiempo en la filosofía de Aristóteles*. *op. cit.* p. 261.

<sup>96</sup> FESTUGIERE, A. J. *Le temps et l'ame chez Aristote* en *Revue des Sciences Philosophiques et Theologiques*, 23, 1934, pp. 5-28. Citado por CONILL SANCHO, J. *op. cit.*, p. 263.

<sup>97</sup> PRANTL, K. *Aristóteles Acht Bücher Physik*. Leipzig, 1854. Mencionado por CONILL SANCHO, J. *op. cit.*, p. 267.

En una línea más radical, el filósofo francés Octave Hamelin (1856-1907)<sup>98</sup> considera que, puesto que el tiempo es algo del alma porque sólo el alma puede numerar y el tiempo es número, Aristóteles se alinearía con el idealismo al desprenderse de esto que el tiempo es anterior al movimiento. El tiempo sería algo puesto por el alma, que es anterior al movimiento. Luigi Ruggiu, por su parte, considera que el tiempo es determinado absolutamente por la presencia siempre actual de la conciencia pura, siendo el tiempo producto de la actividad del sujeto de conocimiento.<sup>99</sup>

Y, como no, existe una tercera vía de interpretación de la teoría aristotélica del tiempo según la cual la naturaleza ontológica del tiempo en Aristóteles pivota sobre ambos elementos, el alma y el movimiento, en un necesario equilibrio. Es el caso de Wolfgang Wieland (1933-2015)<sup>100</sup>, para el cual la doctrina de Aristóteles está exenta tanto de objetivismo como de subjetivismo, siendo la relación entre las estructuras del mundo y el alma la clave para su interpretación. Según este autor la doctrina de la conexión tiempo-alma no fundamenta una concepción aristotélica subjetivista del tiempo. El alma es una condición necesaria pero no suficiente para que haya tiempo porque no es que el tiempo tenga realidad por el alma o en el alma sino que, únicamente no sería sin la actividad del alma.

En su explicación de la dependencia del tiempo con respecto del cambio Aristóteles utiliza un argumento de carácter fenomenológico al señalar que no podemos tener experiencia de un intervalo de tiempo sin experimentar el cambio y, con ello, vincula de forma directa el estatuto ontológico del tiempo con la mente en lo que supone una segunda relación de dependencia del tiempo con respecto de ésta que, además de ser el alma que numera, es el alma que cambia en el numerar.

Para Aristóteles el tiempo no se entiende como objeto. Como el instante, el tiempo no es una cosa sino un predicado de las cosas, añadiendo, además, que sólo puede darse bajo el presupuesto de un alma numerante. Con ello el pensamiento aristotélico pone en relación de interdependencia entre el alma –que pertenece al mundo físico- y algunas categorías fundamentales del mundo físico. Relación que

---

<sup>98</sup> HAMELIN, O. *Le système d'Aristote*. París, 1931. Mencionado en CONILL SANCHO, J. *op. cit.* p. 269.

<sup>99</sup> RUGGIU, L. *Tempo, Conscienza e Essere nella filosofia di Aristotele. Saggio sulle origini del nichilismo*. Brescia: Paideia, 1970. Mencionado en CONILL SANCHO, J. *op. cit.* p. 269.

<sup>100</sup> WIELAND, W. *La física aristotélica. Los estudios sobre la base de la ciencia y de los términos lingüísticos de los principios de la investigación en Aristóteles*. Göttingen: Vandenhoeck y Ruprecht, 1992. Mencionado en CONILL SANCHO, J. *op. cit.* pp. 272-273.

se especifica claramente en dos aspectos: la continuidad de los movimientos del alma y la exterioridad propia del alma.

En este sentido –señala Conill- Aristóteles investiga la divisibilidad infinita de la percepción sensible en virtud de su carácter procesual. Todo cuerpo es continuo en tanto que es susceptible de una infinita división y, por tanto, todo objeto sensible es una magnitud y no es, de ningún modo, indivisible. Y también son infinitamente divisibles sus cualidades sensibles, por lo que la continuidad se da también en la sensación. La sensación es, pues, un proceso continuo:

La distancia a partir de la cual un objeto no puede ser visto es indeterminada. Pero es determinada la distancia desde la cual puede sí ser visto. Eso es también verdad de los objetos del olfato y del oído y de todos los demás objetos que percibimos sin contacto. Hay en el espacio intermedio un punto determinado, más allá del cual el objeto no puede ser visto, mientras que más cerca del cual puede sí ser visto. Este punto, más allá del cual, si un objeto se halla allí, no se puede percibir, mientras que, si el objeto está más cerca que él, sí es perceptible, es, con toda seguridad, necesariamente indivisible. Si, pues, algún objeto sensible es indivisible, cuando está colocado en el punto límite, es decir el último punto en que no puede ser visto y el primero en que ya puede ser visto, será visible e invisible al mismo tiempo: lo cual es imposible.<sup>101</sup>

Por su parte, puesto que la mente conoce los objetos externos por mediación del conocimiento sensible, -si bien es cierto que en Aristóteles no se reduce el conocimiento intelectual al conocimiento sensible- la actividad del pensamiento es también un proceso continuo. En cuanto a la exterioridad del alma, ésta es -afirma Aristóteles en *De ánima*-, en cierto modo todas las cosas, pues es en sí misma potencia, posibilidad en potencia, y en acto es uno con lo percibido. Tiene su ser propio no en sí sino en otra cosa fuera de ella. Está orientada hacia el exterior.

Como ya hemos señalado con anterioridad, es necesario que el movimiento -o lo anterior y posterior en el movimiento- sea numerable para que haya tiempo. Si pudiera existir el movimiento sin que fuera numerable, no habría tiempo. El aspecto del movimiento que es tiempo sólo lo es en tanto el movimiento es referido a un alma. Y es suficiente que el movimiento sea numerable para que sea tiempo: no es necesario que sea numerado efectivamente por el alma; basta con que esto sea posible. En definitiva, la condición necesaria y suficiente de la existencia del tiempo

---

<sup>101</sup> ARISTÓTELES. *Del sentido y lo sensible*. Buenos Aires: Aguilar, 1962, pp. 78-79.

es que el movimiento, en cuanto aquello que es numerable, esté en relación con un sujeto cognoscente, que es lo que tiene la capacidad de numerar. El movimiento numerado efectivamente también es tiempo, pero el movimiento sólo necesita ser numerable para ser tiempo. Si no existiera alma numerante no existiría el tiempo sino sólo el movimiento, es decir, aquello que es el sustrato del tiempo.

Por tanto, el tiempo no es ni algo totalmente objetivo, ni algo totalmente subjetivo. No existe ni totalmente independiente del alma, ni es totalmente dependiente de ella. No es ni movimiento en sí, ni pura construcción mental del *nous del alma*. Más bien representa una potencialidad del movimiento en vistas a una capacidad psicológica de discernir y numerar. La numerabilidad del movimiento es ya tiempo. El tiempo efectivo y real es una potencialidad del movimiento.

¿Por qué define Aristóteles, pues, el tiempo como “número del movimiento” y no como la “numerabilidad del movimiento”? Sin duda, porque la definición de Aristóteles debía abarcar el tiempo en sus dos significados complementarios; y por eso se decide Aristóteles por la palabra “número”. Como ya vimos, no entendiendo como número un número abstracto, sino el número que designa tanto lo *numerado* como lo *numerable*.<sup>102</sup>

El tiempo es algo del movimiento y, por eso, es procesual, dinámico. Por otra parte, en *De la memoria y el recuerdo*, Aristóteles estudia la actividad del sentido interno, cuyas funciones son ejercidas por una facultad que prescinde del contacto simultáneo con el mundo sensible exterior: la memoria. Y en esta facultad se manifiesta un sentido del tiempo,

Por lo tanto, la memoria no es ni una sensación ni un juicio, sino un estado o afección de uno de los dos cuando ha pasado un tiempo. No hay memoria del ahora en un ahora, como ya se ha dicho, sino que de lo presente hay sensación, de lo venidero expectativa, y de lo ocurrido recuerdo. Por ello, todo recuerdo implica un lapso de tiempo, de forma que los animales que perciben el tiempo son los únicos que también recuerdan, y lo hacen con aquello con lo que perciben el tiempo.<sup>103</sup>

Pero Aristóteles también relaciona el tiempo con la actividad propia del pensamiento en tanto que éste es consciente de sí, con la percepción de sí mismo, de la actividad de la propia mente. En definitiva, el tiempo

también está ligado necesariamente a la facultad intelectual, dado que sólo el *nous* es capaz de numerar, aunque para ello precise del concurso de la experiencia del

---

<sup>102</sup> CONILL SANCHO, J. *El tiempo en la filosofía de Aristóteles*. *op. cit.* p. 282.

<sup>103</sup> ARISTÓTELES. *Acerca de la memoria y de la reminiscencia* | 449b 24-30.



movimiento, la memoria, la imaginación y la autoconciencia perceptiva, es decir, de los sentidos externos y, lo que más tarde Kant identificará con el sentido interno. [...] plasmándose en el fenómeno temporal un caso patente de la unión real entre esas dos facultades, originariamente irreductibles, que son el sentido en su doble vertiente - exterioridad y autoconciencia- y el intelecto.<sup>104</sup>

## 1.8 Substancia aristotélica

### 1.8.1 Substancia

En la investigación de los posibles elementos del concepto de tiempo aristotélico que puedan hallarse en la física contemporánea y dada la naturaleza del tiempo aristotélico que, como venimos recordando, es subsidiaria fundamentalmente del objeto móvil, nos será de gran utilidad tener presente el concepto aristotélico de substancia *–ousía–* con el fin de que nos sirva de guía para considerar la substancialidad que la teoría de la relatividad pudiera atribuir al tiempo. En este último apartado del capítulo dedicado al concepto de tiempo aristotélico hemos seguido el trabajo de Francisco José Soler Gil en su obra *Aristóteles en el mundo cuántico* –donde se investiga la aplicabilidad del concepto aristotélico de substancia a los objetos cuánticos- y, también, la obra de Fernando Inciarte titulada *Tiempo, substancia, lenguaje. Ensayos de metafísica*, cuyas reflexiones al respecto nos han parecido de gran interés para nuestro estudio.

Aristóteles expone su teoría de la substancia principalmente en la *Metafísica* - aunque se puede considerar también que ésta constituye un complemento o una matización del planteamiento que hace con anterioridad sobre este asunto en las *Categorías*- donde afirma que todo lo que es, o bien es substancia o es una parte o un accidente de una substancia. En el libro VII de la *Metafísica* distingue los varios sentidos en que se dice el término substancia:

La entidad *–ousía–* se dice, si no en más sentidos, al menos fundamentalmente en cuatro: en efecto, la entidad de cada cosa parecen ser la esencia, el universal, el género y, en cuarto lugar, el sujeto.

El sujeto, por su parte, es aquello de lo cual se dicen las demás cosas sin que ello mismo <se diga>, a su vez, de ninguna otra.<sup>105</sup>

---

<sup>104</sup> CONILL SANCHO, J. *El tiempo en la filosofía de Aristóteles. op. cit.* p. 297.

<sup>105</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* VII 1028b 33-1029a 1.

Pero fundamentalmente Aristóteles emplea dos criterios para establecer la substancialidad de algo: por un lado el criterio de separabilidad, que parece que se da especialmente en las sustancias compuestas de materia y forma y, por otro lado, el criterio que consiste en ser un *esto determinado y concreto*, que parece corresponder más a las formas. Éstos son, pues, los rasgos fundamentales que definen el concepto de la sustancia aristotélica en la *Metafísica*:

Sucede, por demás, que la entidad se denomina en dos sentidos: de una parte, el sujeto último que ya no se predica de otra cosa; de otra parte, lo que siendo *algo determinado* es también *capaz de existencia separada*. Y tal es la conformación, es decir, la forma específica de cada cosa.<sup>106</sup>

Aristóteles utiliza el término de separabilidad en dos sentidos diferentes: separación según el concepto y separación absoluta; las formas poseen la separación en el primer sentido mientras que las sustancias compuestas están absolutamente separadas.

Así pues, es evidente por lo dicho que no se genera lo que se denomina forma o entidad, mientras que el compuesto que se denomina según ésta sí que se genera, y que en todo lo generado hay materia, y lo uno es esto, y lo otro es esto otro.

Pero, ¿existe acaso una esfera fuera de éstas o una casa fuera de los ladrillos. De ser así, ¿no ocurriría que no se generaría ningún objeto determinado? Más bien significan “que algo es de tal clase”, pero no son algo determinado.<sup>107</sup>

Así, pues, en una clara alusión a la teoría de las ideas de Platón, Aristóteles hace notar que las ideas, además de no existir con independencia de las cosas de las que son ideas, tampoco serían capaces de generar esas cosas. Como señala Soler Gil, separable o separado será aquello que es independiente o autónomo, que puede ser sin otra cosa. Las sustancias aristotélicas son, pues, entidades independientes. Pero también es cierto que esta idea de aislamiento completo y permanente es sólo un caso extremo puesto que se establecen relaciones e interacción entre las sustancias y sus entornos que son necesarias para su conservación. Y, no obstante, las sustancias -por lo menos en teoría y por un breve intervalo de tiempo- son aislables, y esta posibilidad de una cierta separación entre una entidad y su entorno es un presupuesto para afirmar la autonomía de la sustancia. En este sentido añadirá Soler Gil:

---

<sup>106</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* V 1017b 22-26.

<sup>107</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* VII 1033b 16-23.

En este punto conviene añadir que son posibles diferentes grados de separabilidad, (es decir, diferentes grados de independencia), y, en consecuencia, también diferentes grados de sustancialidad. Los conceptos aristotélicos poseen a menudo este carácter flexible que permite establecer una graduación en su atribución a ciertas entidades.<sup>108</sup>

En lo que se refiere a la característica de ser un *esto* determinado, dice Soler que con ella se alude a dos rasgos esenciales de las sustancias aristotélicas que están relacionados entre sí: la determinación y la unidad. La determinación de una entidad, en tanto que es un *esto*, consiste en esos rasgos –como el comportamiento o la estructura- que son comunes a todos los ejemplares de una misma especie. No se trata, pues, de una definición de los individuos en cuanto tales sino de sus rasgos universales.

Y para Aristóteles tales rasgos, en tanto que corresponden a un aspecto real de las sustancias, constituyen su esencia, su forma, pues permiten responder a la pregunta por el *qué es* referida a una entidad. En este sentido las sustancias se pueden considerar como realizaciones concretas de las especies, siendo, debido a sus formas, algo determinado, un *esto*. “La forma de una sustancia actúa, durante toda la existencia de la sustancia, como una constante que le garantiza la pertenencia permanente a una determinada especie, (y con ella su determinación)”.<sup>109</sup>

Así pues, toda sustancia aristotélica posee su forma –determinada- y también su materia –cuyo rasgo principal es, por el contrario, la indeterminación-. Sin embargo, el concepto de materia no tiene únicamente este aspecto negativo que le confiere la indeterminación sino que también significa disposición, *dynamis*, capacidad, potencialidad para realizar algo, si bien se trata de una potencialidad de carácter pasivo. Por otra parte, la materia también se concibe como el sustrato de los cambios, y como el sujeto de la actualización; y es precisamente esta indeterminación de la materia la causa de que se den los accidentes:

Puesto que lo que se genera se genera por la acción de algo (llamo así a aquello *de donde proviene el inicio* de la generación), y proviene de algo (tómese como tal no la privación, sino la materia: que ya quedó definido en qué sentido lo decimos), y *llega a ser algo* (y esto es una esfera, una circunferencia o cualquier otra cosa), al igual que (la causa productora) no produce el sustrato, el bronce, tampoco produce la esfera a

---

<sup>108</sup> SOLER GIL, F. J. *Aristóteles en el mundo cuántico*. Granada: Editorial Comares S. L., 2003, p. 34.

<sup>109</sup> SOLER GIL, F. J. *Aristóteles en el mundo cuántico*. *op. cit.* p.41.

no ser accidentalmente, es decir, en cuanto que es esfera la esfera-de-bronce, pero ésta sí que la produce. En efecto producir *algo determinado a partir de lo que es sustrato* en sentido absoluto (quiero decir que hacer redondo el bronce no es hacer la redondez ni la esfera, sino algo muy distinto, por ejemplo tal forma en otra cosa. Y es que si hiciera (la forma), la haría a partir de otra cosa [...]). Lo que hace (la causa productora) es que haya una esfera de bronce. La hace, efectivamente, de bronce y de esfera, ya que hace la forma en tal cosa, y éste es esfera-de-bronce.<sup>110</sup>

Se trata aquí de un concepto –el de materia en tanto que sustrato- que Aristóteles utiliza, además de en sentido físico, fundamentalmente en sentido lógico y metafísico, esto es, en el sentido de un sustrato que se hace patente mediante la abstracción de las cualidades y los demás accidentes de las cosas. Pero, en ambos sentidos, la materia se caracteriza por la indeterminación, la ausencia de ciertos rasgos, que se da tanto en el caso de las potencialidades aún no actualizadas de un material físico como en el caso de la abstracción de las cualidades de una cosa. Por otra parte

el concepto de “materia” es relativo. Es decir, que algo que ya es una sustancia determinada, que fue originada a partir de una cierta materia, puede a su vez poseer potencialidades que permitan considerar dicha sustancia como materia de otras sustancias. [...] El segundo de los aspectos a reseñar está estrechamente relacionado con el anterior: Dado que una sustancia compuesta surge siempre a partir de alguna materia, y siempre tiene alguna parte, (o alguna perspectiva), material, dicha sustancia posee siempre algunas potencialidades, rasgos variables eventualmente, posibilidades de movimiento, etc. De ahí que una sustancia compuesta pueda ser, por su parte, también materia de otras sustancias.<sup>111</sup>

Podemos decir que ambos, materia y forma, son diferentes aspectos de la substancia compuesta, que es lo realmente existente. Y Aristóteles designa con el término *synolon* a la substancia en tanto que compuesta de materia y forma, aludiendo de esta manera a la cosa misma.

Por otro lado, -nos recuerda Soler Gil- el concepto de substancia también está íntimamente relacionado con el concepto de *individuo* que Aristóteles deriva de otro concepto: el de *uno*, aquello que no admite división en tanto que no la permite - división que, una vez más, puede tener un sentido físico o bien conceptual-. Por ello todas las entidades del mundo son, en algún sentido, *algo uno*, es decir, de algún

---

<sup>110</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* VII 1033a 22-1033b 10.

<sup>111</sup> SOLER GIL, F. J. *Aristóteles en el mundo cuántico. op. cit.* p. 48.

modo indivisibles. Hay, además, una correspondencia directa entre *ser* y *uno* en el sentido de que *ser* significa siempre *ser uno*. Y, puesto que hay muchos sentidos de *ser*, hay también muchos sentidos de *ser uno*. *Ser in-divisible*, pues, en algún aspecto significa *ser in-dividuo* en dicho aspecto.

Y así es también en el caso de “causa”, de “uno” y de las demás palabras de este tipo. Y de ahí que “ser uno” es: ser indivisible, siendo en sí mismo una realidad determinada y, en particular, separable local, específica o mentalmente; o también, ser un todo e indivisible; pero, más que nada, ser medida primera de cada género y especialmente de la cantidad. En efecto, de este último se pasó a los demás significados de “uno”.<sup>112</sup>

En cuanto a la unidad, se trata de un rasgo numérico y, a la vez, específico. Numérico en tanto que las sustancias son la base real de la numeración, es decir: lo que permite que sea posible el hecho de contar es la existencia de sustancias o entidades que no permiten ser divididas sin que eso las destruya, es decir, sin que dejen de ser lo que son.

Debemos investigar, desde el punto de vista de la identidad de la naturaleza, qué tipo de realidad posee (lo Uno), de acuerdo con el tratamiento que hicimos en la *Discusión de las aporías*: qué es la unidad y cómo ha de entenderse; si lo uno, en sí, es cierta entidad, como dijeron los Pitagóricos primero y Platón después, o si más bien hay alguna naturaleza que le sirve de sujeto, y cómo conviene explicarlo para mayor claridad, y más bien según el proceder de los filósofos de la naturaleza. Alguno de éstos, en efecto, afirma que lo uno es la Amistad, otro que aire, otro que lo Indeterminado.<sup>113</sup>

Las sustancias pueden ser concebidas como un todo y, en tanto que un todo, considerarse específicamente uno. Por lo tanto, la unidad numérica presupone la unidad específica: ser numéricamente *uno* significa ser numéricamente *algo*, esto es, *un todo*. Y dado que *ser* significa siempre *ser uno* y, entre los diversos significados que tiene la palabra *ser*, es central el de *ser substancia* y entre los diversos significados que tiene *ser uno*, es central el de *ser un individuo*, las sustancias son para Aristóteles las unidades naturales del mundo.

Ciertas cosas son uno de este modo: en tanto que son algo continuo o un todo. Otras cosas, por su parte, son uno si su definición es una, y son tales si su intelección es una, y si ésta es indivisible. Y ésta, a su vez, es indivisible si es intelección de algo indivisible, ya específicamente ya numéricamente. Numéricamente es indivisible el

<sup>112</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* X 1052b 15-19

<sup>113</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 1053b 9-16.

individuo, y específicamente, lo que es indivisible para el conocimiento y para la ciencia, de modo que “uno” en sentido primario será aquello que es causa de la unidad de las entidades. Así pues, uno se dice en todos estos sentidos: lo continuo por naturaleza, el todo, el individuo y el universal, y cada uno de ellos es uno en cuanto que es indivisible, bien en su movimiento, bien en su intelección y definición.<sup>114</sup>

Todos estos rasgos –separabilidad, autonomía, determinación, individualidad, unidad- no son independientes entre sí sino que se implican unos a otros y, además, se pueden concebir en diferentes grados por lo que también se dan diferentes grados de substanciabilidad, lo que dota a este concepto aristotélico, como a tantos otros, de una notable flexibilidad. Hemos de añadir que estas entidades pueden ser generadas y destruidas y, también, unirse entre sí para constituir una nueva sustancia en la cual, o bien las entidades originarias permanecen como partes de ésta o bien son destruidas en tanto que entidades en este proceso.

La continuidad, por su parte, como primera modulación de la unidad, garantiza la unidad en tanto que integración de pluralidad. Lo continuo constituye unidad pero, para llegar a conformar un todo cuyas partes estén estructuradas de manera distinta se requiere que la unidad provenga de la forma:

Además, en cierto sentido decimos de cualquier cosa que es una si, poseyendo cantidad, es continua, pero en cierto sentido no decimos que lo es, a no ser que constituya un todo, es decir, a no ser que posea la unidad de la forma: por ejemplo, al ver las partes de un zapato puestas juntas de cualquier manera no diríamos que

constituyen una unidad, excepto en el sentido de que son continuas, pero sí (que lo diríamos) si estuvieran juntas de modo que compusieran un zapato, es decir, poseyera ya cierta forma una.<sup>115</sup>

Los individuos son, pues, para Aristóteles, las sustancias. Pero éstas son producidas y destruidas y experimentan cambios a lo largo de su existencia y, en este punto, nos asalta la pregunta sobre la identidad de los individuos en el contexto de la teoría de la sustancia aristotélica. La sustancia no es únicamente una forma. Ésta le da a la materia su determinación, pero la sustancia misma posee, además, potencialidades, es decir, rasgos que pueden cambiar, en virtud de la potencialidad de su materia y, en tanto que dichos cambios no alteren su forma, la

---

<sup>114</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* X 1052a 29-38.

<sup>115</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* V 1016b 12-16.

substancia perdura. Sólo cuando se ve afectado alguno de los rasgos esenciales de la substancia se puede considerar que se ha alcanzado su destrucción. El individuo no es tal en tanto que está constituido por ciertos elementos sino que es la estructura lo que le caracteriza como tal por lo que, incluso si éste sufre cambios en cuanto a los elementos que lo componen, puede conservar su identidad mientras la estructura persista. Un ser vivo, por ejemplo, es constituido como individuo por la unidad de una serie de órganos –dando lugar a un *organismo*- que se orientan a la realización de determinadas funciones.

Sin embargo, es preciso recordar –como señala Soler Gil- que en la ontología aristotélica no hay ningún principio general del ser, ninguna causa general del ser substancia y, por ende, ningún principio general del ser individuo, de individuación: sólo hay causas particulares de la individualidad de cada individuo concreto, que permanece uno y el mismo en tanto que no se alteren sus aspectos formales, y cuyos principios de individuación son, por lo tanto, su materia, su forma y los procesos por medio de los cuales es producido. Éstos son -los principios de individuación de cada individuo-, pues, las causas de su existencia particular.

Aristóteles considera a la sustancia como el prototipo de objeto (cotidiano), de modo que algunas de las entidades que en el lenguaje habitual son denominadas objetos son sustancias, y los otros objetos (o al menos muchos otros), de algún modo han de concebirse como entidades similares a la sustancia, es decir, como entidades que poseen en mayor o menor grado algunos de los rasgos característicos de las sustancias.<sup>116</sup>

Aristóteles, pues, desarrolla su concepto de substancia a partir del análisis de los objetos de la experiencia ordinaria, de sus movimientos, sus cambios, los procesos que se dan en los entes concretos. Y también desarrolla este concepto con el fin de efectuar la caracterización de tales objetos. Y, si bien es cierto que, de entre todos ellos, son los seres vivos los que más se ajustan a su concepto de substancia, no son éstos los únicos objetos que cumplen sus criterios de substancialidad.

### 1.8.2 *Accidentes*

En lo que se refiere a la distinción que hace Aristóteles entre substancia y accidente, lejos de ser una distinción que se postula de la realidad, se trata de una distinción de razón o conceptual, aunque fundamentada en la substancia real, y

---

<sup>116</sup> SOLER GIL, F. J. *Aristóteles en el mundo cuántico. op. cit.* p. 63.

más en concreto, en su carácter móvil. Si bien en el libro de las *Categorías* Aristóteles parece atribuir a los accidentes un modo de ser o existir propio consistente en la *inherencia*, -frente a la *subsistencia* como modo de ser propio de la substancia- en la *Metafísica* esta concepción evoluciona en favor de la negación de la existencia de los accidentes.

Aunque Aristóteles afirmará respecto a la esencia que de algún modo, aunque secundario, se puede postular el ser de los accidentes, -“Y al igual que el “es” se da en todas las categorías, pero no del mismo modo, sino que en una se da de modo primario y en las demás de modo derivado, así también el “qué es” se da de modo absoluto en la entidad, y en las demás en cierta manera”.<sup>117</sup>- sin embargo, más adelante matiza, al preguntarse por la cualidad, que “la cualidad es de las cosas a que corresponde el qué-es, pero no absolutamente, sino en el sentido en que algunos dicen, conforme a los usos lingüísticos, que “lo que no es, es”: no (que es) absolutamente, sino (que es) algo que no es”.<sup>118</sup>

Esto obedece a que la distinción entre la substancia y los accidentes no es una distinción real, es decir, a partir de la realidad de las cosas, sino que se trata de una distinción de razón fundamentada en el carácter cambiante de la substancia -que, sin embargo, permanece- a lo largo del tiempo. Sólo en un sentido puramente lógico o lingüístico puede decirse de los accidentes que *son*. Así,

[...] también “algo que es” se dice en muchos sentidos, pero en todos los casos en relación con un único principio: de unas cosas (se dice que son) por ser entidades, de otras por ser afecciones de la entidad, de otras por ser un proceso hacia la entidad, o bien corrupciones o privaciones o cualidades o agentes productivos o agentes generadores ya de la entidad, ya de aquellas cosas que se dicen en relación con la entidad, o bien por ser negaciones ya de alguna de estas cosas ya de la entidad.<sup>119</sup>

La substancia no es, en fin, para Aristóteles, una especie de núcleo fijo sobre el cual inhiere o en torno al cual se suceden los accidentes, también existentes, sin afectarla o modificarla sino que es más bien la substancia la que se ve modificada en algunas de sus determinaciones, determinaciones que constituyen los accidentes. Sólo *existen* substancias en uno u otro estado.

En este aspecto nos adscribimos a la tesis defendida por Fernando Inciarte según la

<sup>117</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* VII 1030a 21-23.

<sup>118</sup> ARISTÓTELES. *op. cit.* 1030a 23-29.

<sup>119</sup> ARISTÓTELES. *Metafísica* IV 1003b 5-9.



cual se da una estricta analogía entre la relación entre substancia y accidentes, por un lado, y la relación entre el instante y los instantes, por otro lado, es decir, del mismo modo que se da una identidad entre los accidentes entre sí y entre éstos y la substancia, se puede hablar también de una identidad entre el instante y *los instantes* y reconocer, a la vez, una cierta distinción o multiplicidad en los mismos. Y por lo tanto, afirma Inciarte:

Para decirlo brevemente, *a parte rei* no hay más que un solo instante, como *a parte rei* no hay más que una substancia en este o el otro estado y no, *además*, los accidentes que constituyan ese estado; pero así como podemos, debemos y tenemos –no podemos por menos- que distinguir *secundum rationem* –es decir, en la abstracción de las filosofías segundas, terceras o cuartas (por ejemplo, la historia, pero ya en la vida misma)- entre diversos accidentes y considerarlos como si tuvieran un ser propio, así también tenemos que distinguir en la abstracción –sin la cual no sólo no habría ciencia sino ni tan siquiera vida humana- entre diversos instantes o ahora sucediéndose unos a otros.<sup>120</sup>

Es decir, como hemos señalado anteriormente, no es el accidente el que cambia sino la substancia –no es el tamaño o estatura de una persona la que cambia sino la persona lo que cambia de estatura- y no hay substancia que se sustraiga al cambio constante, ya que un universo en el que nada cambiara dejaría de existir, junto con el propio tiempo.

Por otra parte, en cuanto a la consideración del tiempo como compuesto de pasado, presente y futuro, no se trata de una composición que tenga correspondencia objetiva. Sin embargo, esto no convierte al tiempo en algo carente de realidad ya que es real el movimiento y es real su medición o número, si bien el primero es número numerado y el tiempo es el número numerante. En este sentido -afirma Fernando Inciarte- la teoría del tiempo en Aristóteles no es una teoría de la sucesión de instantes.

Ante la cuestión de si el tiempo es una entidad real, existente por sí misma o si, más bien, su realidad es relativa a un hecho de conocimiento humano, Aristóteles se desmarca de la primera postura para defender una concepción del tiempo relacionada directamente con la actividad del sujeto. Para Aristóteles hay un modo de ser que es el tiempo porque hay un modo de ser, fundamental, que es el movimiento. Pero no es el movimiento, sino su *ser numerable* lo que define al

---

<sup>120</sup> INCIARTE, F. *Tiempo, substancia, lenguaje. Ensayos de metafísica*. Pamplona: L. Flamarique, Eunsa, 2004, p. 90.

tiempo. Aristóteles dirá que, así como es imposible que el movimiento comience o termine, también el tiempo se antecede y se sucede a sí mismo, lo que nos impide encontrar en él límites externos; y no podemos encontrar tampoco un límite interno pues es infinitamente divisible.

Así pues, mientras en las *Categorías* Aristóteles utiliza los conceptos de inherencia y substancia segunda, que más tarde darían lugar a la distinción entre *subsistencia* -como el ser propio de la substancia- e *inherencia* -como el ser propio del accidente (atribuyendo aparentemente a los accidentes un cierto tipo de ser propio)-, en la *Metafísica* Aristóteles deja claro que no es éste el estatuto ontológico que atribuye a los accidentes. Y, siendo el tiempo un accidente del movimiento, en tanto que su número, no podemos decir, pues, que su estatuto ontológico no sea otro que el que Aristóteles concede a los accidentes.<sup>121</sup>

En definitiva, podemos concluir que, según el pensamiento aristotélico, el tiempo carece de existencia propia y no es, por tanto, substancia, esto es, no es una cosa que exista por sí. Siendo accidente -y/o predicado- del movimiento, presenta una doble dependencia: se fundamenta en las cosas, manifestándose en el movimiento o cambio del que éstas son sujeto y, además, requiere del alma humana que lo capta, lo constata y lo predica. Y, puesto que el movimiento tampoco es substancia, sino algo de las cosas, el tiempo vendría a ser accidente de accidente por ser él algo del movimiento. También en este aspecto, pues, doblemente subsidiaria su naturaleza ontológica.

De tal modo que el tiempo adquiere los rasgos que lo caracterizan del movimiento, de las cosas que son sujeto de movimiento y, también, del alma humana ya que el tiempo es *el número del movimiento según lo anterior y posterior*. De aquí su continuidad, en virtud de la carencia de límites -tanto a nivel intensivo como en el de la extensión-; de ahí, también, su modo de ser, más potencia que

---

<sup>121</sup> Posteriormente Kant -que en este punto recupera la ontología aristotélica- postulará la realidad objetiva del tiempo en función de su participación en la constitución de los objetos de la experiencia. El tiempo no es una cosa en sí. Es una forma de la intuición, que es un hecho de conocimiento constituido por el sujeto de conocimiento

## CAPÍTULO II

### EL CONCEPTO DE TIEMPO EN LA FÍSICA MODERNA

La influencia de Aristóteles en el pensamiento occidental que, impulsada por la escolástica, dominará todos los ámbitos del saber durante la Edad Media de Occidente será, sin embargo, desbancada por la emergencia de la Ciencia Moderna que se habrá ido gestando a lo largo del Renacimiento, época durante la que se asentarán las bases para la consolidación de un nuevo paradigma, el cartesiano-newtoniano, que en muchos aspectos continúa vigente en nuestros días. Los rasgos fundamentales de este nuevo paradigma contrastan llamativamente con muchos de los que caracterizan la concepción aristotélica del mundo. Es por ello que consideramos de gran interés para nuestro estudio desgranar el entramado conceptual que domina el pensamiento bajo este nuevo paradigma hasta comienzos del siglo XX.

El concepto de tiempo newtoniano será la bisagra que nos permitirá articular el desarrollo de esta investigación en torno al concepto de tiempo. El contraste de este paradigma con el aristotélico pondrá de relieve la esencia de uno y otro, lo que será de gran utilidad a nuestro propósito de detectar cuáles son los elementos que del concepto de tiempo aristotélico han sobrevivido al paradigma clásico newtoniano y cuáles ha recuperado la ciencia contemporánea en la superación de este último. Nos interesa, por tanto, poner de relieve aquí el concepto newtoniano de tiempo. Y para ello no podemos obviar la célebre controversia protagonizada por Clarke y Leibniz en la que se ponen de manifiesto las ideas fundamentales de ambos y sus formas contrapuestas de interpretar y concebir la naturaleza.

En esta investigación recurrimos a la obra bibliográfica producida por el propio Newton, que recoge sus ideas principales respecto a la cuestión que nos ocupa en su *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, así como la mencionada polémica Leibniz-Clarke. Nos apoyaremos, además, en los trabajos de autores como Milic Capek, Bas C. Van Fraassen, Nicolás Vaughan C., Antonio Pérez Quintana o Carlos Blanco, cuya profundidad y conocimiento de los aspectos más relevantes de esta cuestión nos ha servido de guía.

## 2.1 El concepto newtoniano de tiempo

Como señala Bas C. Van Fraassen en su obra *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*, la definición aristotélica de tiempo como *número o medida del movimiento según lo anterior y lo posterior* proporciona una definición del tiempo en tanto que duración o magnitud –habla de cuánto dura un movimiento- pero no define el tiempo en tanto que relación y orden, puesto que la misma definición da por supuesto el orden temporal. Aristóteles “introduce la relación temporal de *simultaneidad* sin indicar que una teoría del tiempo debería dar también una explicación de esta relación. Y sin embargo, Aristóteles necesita esta relación para defender su definición de tiempo”.<sup>122</sup> La teoría del tiempo aristotélica es, fundamentalmente, una teoría de la duración.

La Edad Media sistematizó el pensamiento aristotélico y, puesto que en el paradigma aristotélico-escolástico no hay separación entre la ciencia y la filosofía, el estudio de las sustancias materiales, o filosofía de la naturaleza, se da en este periodo en el ámbito de la metafísica. Será gracias a la aparición y desarrollo de la ciencia moderna, en el siglo XVII, que el conocimiento científico se desprenderá del sistema metafísico en el que se ubicaba para constituir un área de conocimiento independiente, lo que le permitirá establecer una clara distinción entre la teoría científica y lo que se considera su interpretación filosófica. Y en este nuevo escenario la teoría del tiempo se incorpora a la interpretación filosófica de las teorías científicas.

Con el advenimiento de la ciencia moderna se producirá también un radical alejamiento de los principios fundamentales de la metafísica aristotélica que habían sido asumidos por la escolástica. Uno de los agentes responsables de este cambio de paradigma lleva el nombre de Isaac Barrow -maestro de Newton-, que pone ya de manifiesto su rotundo rechazo de la definición aristotélica de tiempo y postula la primera noción de tiempo absoluto:

Pero el tiempo ¿no supone el movimiento? Respondo: de ninguna manera, por lo que respecta a su naturaleza absoluta, intrínseca; no más que el reposo; la cualidad tiempo no depende esencialmente de ninguno de los dos; tanto si las cosas se mueven como si están quietas, tanto si dormimos como si estamos despiertos, el tiempo fluye a su

---

<sup>122</sup> VAN FRAASSEN, B.C. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. Barcelona: Editorial Labor, 1978, p. 26.

ritmo regular. Imaginemos que todas las estrellas han estado quietas desde su nacimiento: para el tiempo nada se habrá perdido; esta quietud habría durado tanto como ha durado el flujo de este movimiento.<sup>123</sup>

Isaac Barrow terminará por postular un tiempo independiente del movimiento y también del alma humana. Una entidad física que existe con independencia de los cuerpos y los acontecimientos, pero no con independencia de Dios, constituyendo, junto con el espacio, una manifestación de su presencia en el mundo. Y será precisamente esta concepción del tiempo y del espacio la que recogerá Newton al definirlos como entidades substanciales que constituyen infinitos recipientes o continentes de las cosas y de los acontecimientos; entidades que tienen existencia actual.

El concepto de tiempo es esencial en la revolución científica que tiene lugar a lo largo de los siglos XVI y XVII, época en la que aparece la novedosa concepción del tiempo abstracto. Galileo fue el primero en prestar atención al papel que juega el tiempo en la física y, al señalar su unidimensionalidad y su continuidad, inicia el proceso de matematización del tiempo, matematización que está en consonancia con la del resto de los objetos del conocimiento científico. Sus estudios sobre la velocidad de caída de los cuerpos y el descubrimiento de que ésta era proporcional al tiempo derivaron en la aparición de la dinámica moderna; por otro lado, su interés por el problema de la velocidad instantánea de un cuerpo en movimiento impulsará más tarde, la invención del cálculo infinitesimal.

Con la ciencia moderna se inicia una nueva concepción del tiempo. Ahora, en tanto que parámetro de las ecuaciones del movimiento, el tiempo se va desprendiendo de su antigua supeditación para adquirir una absoluta independencia de las cosas. Por su parte el método científico, que había hecho explícito Descartes y se va gestando a lo largo de la revolución científica, adquiere su plena madurez con la dinámica newtoniana:

Lo que Galileo reclama se convierte en Newton en realidad; el problema planteado por el Renacimiento parece encontrar su solución definitiva en un plazo sorprendentemente exiguo. Galileo y Kepler habían concebido la idea de la ley natural en toda su amplitud y profundidad, en toda su significación metódica fundamental, pero no pudieron mostrar su aplicación concreta más que en algunos fenómenos naturales

---

<sup>123</sup> BARROW, I. *The Geometrical Lectures*, (trad. De J.M. Child), La Salle: Open Court, III., pp. 35-37. Citado por VAN FRAASSEN, B.C. en *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio. op. cit.* p. 33.

aislados, como el de la caída libre y el movimiento de los planetas. [...] La obra de Newton aporta esa prueba.[...] Con ello se inaugura el triunfo del saber humano, se descubre una fuerza radical del conocimiento a la altura de la fuerza radical de la naturaleza. [...] Newton ha sido el primero que ha llevado el conocimiento de la naturaleza, de sus suposiciones arbitrarias y fantásticas a la claridad del concepto, de la obscuridad a la luz.<sup>124</sup>

Se trata del método inductivo-deductivo, que combina análisis con síntesis, observación empírica con establecimiento de hipótesis. Ambos son necesarios para comprender los fenómenos que observamos y nos permiten reconocer en ellos las leyes de la naturaleza, la regularidad que la caracteriza, prever su comportamiento y, de este modo, intervenir en ella. Porque, *natura est semper sibi consona*.

Una noción de identidad eterna, inmutable y que permanece siempre igual a sí misma preside esta mirada clásica. Identidad que permite sentar las bases de un conocimiento sólido, definitivo y aglutinador de unos pocos principios fundamentales que han de explicar todos y cada uno de los fenómenos naturales. Se trata del imperio del ser en detrimento del devenir; del orden y la estabilidad frente al desorden y el cambio, en virtud de lo cual todo acontecimiento novedoso no puede sino ser interpretado como mera apariencia o producto de la ignorancia humana. La búsqueda de universalidad impide reconocer la singularidad en el mundo. La certidumbre y el saber absoluto son posibles, sólo es cuestión de tiempo.<sup>125</sup>

Defendiendo una concepción substantivista del tiempo, Newton combatirá posturas relativistas –o, mejor dicho, relacionales– como la de Leibniz, que definió el tiempo como las *relaciones* entre los sucesos.<sup>126</sup> A su vez, los acontecimientos necesitan de las sustancias materiales para tener lugar. En consecuencia, el tiempo leibniziano es relacional y dependiente de la materia; si ésta no existiese no tendría sentido hablar de tiempo. El tiempo queda así definido como una abstracción mental, como algo ideal, aunque sean reales las relaciones que producen esa construcción mental.

Por su parte Newton definirá el tiempo como algo real, objetivo, verdadero, matemático, que fluye por sí solo, sin relación a ningún cuerpo, siempre igual y, sobre todo, absoluto. En lo que al concepto de tiempo se refiere, frente al

---

<sup>124</sup> CASSIRER, E. *Filosofía de la Ilustración*. México: Fondo de Cultura Económica, 1950, pp. 60-61.

<sup>125</sup> ORTIZ GALILEA, J. *El paradigma de la complejidad*. Braga: Revista Portuguesa de Filosofía. Filosofía e Ciencia, 2007, p. 409.

<sup>126</sup> Leibniz defendía una concepción relacional del espacio y del tiempo basada en la idea de que sin los acontecimientos físicos no tendría sentido afirmar la existencia ni del uno ni del otro. En la polémica mantenida con Clarke, Leibniz desarrolla y argumenta esta idea: RADA, E. *La polémica Leibniz-Clarke*, Madrid: Taurus Ediciones, 1980.

racionalismo relacional de Leibniz, Newton afirma un substantivismo radical. Precisamente -como señala Alexandre Koyré en palabras que aquí reproducimos- las críticas que recibió de Berkeley

[...] indujeron a Newton a añadir en la segunda edición de sus *Principia* el famoso *Scholium General* que con tanta fuerza expresa las concepciones religiosas que corona y apoyan su construcción empírico-matemática, revelando de este modo el significado real de su método "filosófico". Me parece muy probable que deseara disociarse de los aliados un tanto comprometedores apuntados por Berkeley y, al exponer sus puntos de vista a su manera, demostrar -como ya había intentado Bentley- que la filosofía natural, esto es, su filosofía natural lleva necesariamente no a la negación, sino a la afirmación de la existencia de Dios y de su acción en el mundo. Al mismo tiempo, no desea obviamente, rechazarlos o desautorizarlos y, a pesar de la advertencia de Berkeley, afirma no sólo la existencia del tiempo absoluto y del espacio absoluto, sino también su conexión necesaria con Dios.<sup>127</sup>

Es en ese famoso *Scholium* donde afirma con toda rotundidad que Dios es

eterno e infinito, omnipotente y omnisciente, esto es, dura desde la eternidad hasta la eternidad, y está presente desde lo infinito hasta lo infinito. Rige todo, y conoce todo cuanto es o puede ser hecho. No es eternidad o infinitud, sino eterno e infinito; no es duración o espacio, pero dura y está presente. Dura siempre y está presente en todas partes, funda la duración y el espacio.<sup>128</sup>

El tiempo y el espacio absolutos -fundamentales para su teoría científica- son atributos de Dios, -son denominados *sensorium Dei*-. De este modo, la teología pasa a formar parte de la fundamentación de la ciencia porque, precisamente gracias a ello, se hace patente la presencia de Dios en las cosas, en el mundo. El fundamento del tiempo es la eternidad de Dios mientras que el del espacio es su omnipresencia: Dios presente siempre y en todo lugar.

Sin embargo, los conceptos de espacio y de tiempo absolutos se hacen necesarios para explicar y describir el movimiento de los cuerpos, su mecánica, por lo que es en el ámbito de la cinemática donde se desarrolla fundamentalmente el concepto físico de tiempo, en concreto en torno al movimiento de traslación.

El concepto de tiempo absoluto es fundamental para la coherencia de la teoría científica de Newton porque representa, junto con el espacio absoluto, la base

<sup>127</sup> KOYRÉ, A. *Del mundo cerrado al universo infinito*. Madrid: Siglo XXI, 1979, p. 207.

<sup>128</sup> NEWTON, I. *Principios matemáticos de filosofía natural*. Barcelona: Altaya, 1997, p. 619.

ontológica de la realidad física; realidad física cuyas leyes son válidas en un tiempo y un espacio absolutos, aunque uno y otro no pertenezcan al dominio de nuestra experiencia sensible.

Situado en este marco, Newton comienza sus *Principia* estableciendo las definiciones de los conceptos dinámicos de masa, cantidad de movimiento, inercia o fuerza. Dichas definiciones acaban con el *Scholium* donde establece su definición de tiempo y espacio absolutos.

Tiempo, espacio, lugar y movimiento son palabras conocidísimas para todos. Es de observar, con todo, que el vulgo sólo concibe esas cantidades partiendo de la relación que guardan con las cosas sensibles. Y de ello surgen ciertos principios, para cuya remoción será conveniente distinguir allí entre lo absoluto y lo relativo, lo verdadero y lo aparente, lo matemático y lo vulgar.<sup>129</sup>

El tiempo verdadero no es el tiempo relativo, vulgar y aparente, sino el absoluto, de fluir continuo y regular, el tiempo como condición necesaria para que los cuerpos puedan cambiar así como el espacio lo es para que se puedan mover. Tiempo que, aunque verdadero, no puede ser objeto de experiencia ni tener relación con nada externo a él. Frente a éste, el tiempo al que hacemos referencia en nuestra experiencia es el tiempo de las cantidades relativas, el tiempo de los días y las horas:

El tiempo absoluto, verdadero y matemático, en sí y por su propia naturaleza sin relación a nada externo fluye uniformemente, y se dice con otro nombre duración. El tiempo relativo, aparente y vulgar es una medida sensible y exterior (precisa o desigual) de la duración mediante el movimiento, usada por el vulgo en lugar del verdadero tiempo; hora, día, mes y año son medidas semejantes.<sup>130</sup>

El tiempo es, pues, para Newton, un concepto primitivo e independiente. No se define a partir de otros conceptos. De hecho, es este carácter primitivo lo que lo hace indefinible. Sólo es posible su descripción pues no es posible definirlo a partir de otros conceptos que sean más primitivos que él mismo.

Newton distingue claramente entre el tiempo absoluto y el tiempo relativo, entre un tiempo, el primero, verdadero y otro, el segundo, aparente y vulgar –en el sentido de que es el tiempo considerado en el conocimiento no científico sino de la experiencia

---

<sup>129</sup> NEWTON, I. *Principios matemáticos de filosofía natural. op. cit.* p. 32.

<sup>130</sup> NEWTON, I. *ibid.*



cotidiana. Y ambos conceptos dependen de la experiencia, aunque en diferente medida: mientras que el tiempo relativo no la sobrepasa, el tiempo absoluto es consecuencia de la abstracción efectuada a partir de la experiencia del primero. El tiempo-medida es relativo al tiempo absoluto pensado como idealización perfecta o infinita, de una regularidad absoluta en comparación con las regularidades imperfectas del tiempo vulgar o relativo, imperfección que se pone de manifiesto en su medición. El tiempo absoluto newtoniano es duración y es concebido como un fluir, universal y eterno, al margen de sus contenidos y de lo que acontezca en su interior. En palabras del propio Newton:

En astronomía el tiempo absoluto se distingue del relativo por la ecuación, es decir, la corrección del tiempo aparente. Porque los días naturales son desiguales, por más que sean considerados iguales y usados como medida del tiempo. Los astrónomos corrigen esa desigualdad para poder medir los movimientos de los cuerpos celestes con un tiempo más veraz. Es posible que no exista un movimiento uniforme con el cual medir exactamente el tiempo. Todos los movimientos pueden ser acelerados o retardados, pero el flujo del tiempo absoluto no puede ser alterado. La duración o perseverancia de las cosas existentes permanece incambiada, siendo los movimientos rápidos, lentos o nulos, y por eso, debe distinguirse esta duración de lo que son sólo medidas sensibles suyas, a partir de las cuales es deducida mediante la ecuación astronómica.<sup>131</sup>

El tiempo absoluto es, pues, una realidad anterior a cualquier cambio o movimiento que se dé en la naturaleza. Más aún, es, entre otras cosas, la inmutabilidad propia del espacio y el tiempo absolutos lo que posibilita que el movimiento pueda darse.

Porque los tiempos y los espacios son sus propios lugares y también los de las otras cosas. Todas las cosas están situadas en el tiempo según el orden de sucesión y en el espacio según el orden de situación. Pertenece a su esencia el hecho de ser lugares y es absurdo que lugares primarios sean móviles. Éstos son, pues, los lugares absolutos; y sólo son movimientos absolutos las traslaciones de unos a otros.<sup>132</sup>

Así, el movimiento absoluto está referido a los lugares y tiempos absolutos. En el tiempo absoluto dirección y flujo uniforme vienen dados por el pasado, el presente y el futuro. Pasado, presente y futuro que nada tienen que ver con la materia y con sus cambios. El tiempo se entiende como el marco dentro del cual ocurren los hechos. Así, el tiempo absoluto no es una relación basada en la propia existencia

---

<sup>131</sup> NEWTON, I. *Principios matemáticos de filosofía natural. op. cit.* p. 34.

<sup>132</sup> NEWTON, I. *ibid.*

de las cosas, sino que pertenece a Dios; Dios como lugar y marco en el que tienen lugar tanto las cosas como los hechos. Y gracias a ese marco “podemos distinguir el reposo y el movimiento –tanto relativos como absolutos- por sus propiedades, causas y efectos”.<sup>133</sup>

Esta defensa del concepto de tiempo absoluto a partir del método experimental fue objeto de numerosas críticas por parte de varios de sus contemporáneos –Leibniz y Berkeley, principalmente, que le llegaron a acusar de substancialista medievalista- para defenderse de las cuales añadió, en la segunda edición de los *Principia*, el *Scholium* donde afirma que Dios es el fundamento de la duración en la eternidad; Dios, que dura siempre y está presente en todas partes, funda la duración y el espacio; el tiempo es un *sensorium Dei* o, como mantiene Clarke en su quinta respuesta a las críticas de Leibniz:

Dios no existe ni en el espacio ni en el tiempo, pero su existencia causa el espacio y el tiempo. Y cuando, de acuerdo con la analogía del lenguaje vulgar, decimos que existe en todo espacio y en todo tiempo las palabras dan a entender solamente que Él es omnipresente y eterno, esto es, que el espacio ilimitado o el tiempo son consecuencias necesarias de su existencia y que no son seres distintos de Él y en los cuales existe.<sup>134</sup>

El carácter absoluto del tiempo también resulta fundamental en la matemática newtoniana: para Newton la mecánica es el arte de medir el movimiento de los cuerpos y la noción de tiempo absoluto es necesaria para poder obtener una medida del tiempo, medida que, por otra parte, no es sino lo que Newton llama tiempo relativo o aparente. Es, pues, indispensable establecer la clara distinción entre uno y otro, entre el tiempo y su medida. Y para que sea posible obtener una precisa medida del tiempo es necesaria la concepción de un tiempo absoluto dotado de unas determinadas propiedades: continuidad y homogeneidad.<sup>135</sup>

Si bien el movimiento es necesario para medir el tiempo, -en particular, utilizamos un movimiento periódico regular- para Newton el tiempo absoluto no se identifica con ningún movimiento. Más bien al contrario, la medida del tiempo mediante un movimiento presupone, requiere, la noción de tiempo absoluto ya que la duración o perseverancia de la existencia de las cosas se mantiene independientemente de

---

<sup>133</sup> NEWTON, I. *Principios matemáticos de filosofía natural. op. cit.* p. 35.

<sup>134</sup> RADA, E. *La polémica Leibniz-Clarke*, Madrid: Taurus Ediciones, 1980, p. 143.

<sup>135</sup> En virtud de su carácter continuo, el concepto de tiempo absoluto es un concepto ontológico pero también es, gracias a su homogeneidad o igualdad de sus partes, una abstracción matemática.

que el movimiento de éstas sea rápido, lento o nulo. De ahí que esta duración deba distinguirse de lo que son sólo sus medidas sensibles.

Con el fin de que sea posible medir el tiempo con la máxima precisión, el tiempo absoluto se caracteriza por la absoluta regularidad en su fluir así como por su independencia de los movimientos que se producen en el mundo físico, y esto garantiza que la medición que se hace del tiempo no va a afectar al propio tiempo absoluto. El tiempo absoluto garantiza la posibilidad de postular la isocronía entre dos objetos o acontecimientos, esto es, de establecer su simultaneidad en base a que participan de la misma duración. El principio de simultaneidad es uno de los corolarios más importantes de la doctrina del tiempo absoluto y se desprende del hecho de que la serie temporal es única y absoluta, donde dos eventos serán simultáneos cuando ocupen en ella la misma posición. El tiempo y el espacio, por tanto, no son un puro accidente de los cuerpos sino entidades independientes de éstos, que están y se mueven en su seno. De este modo queda definido para la dinámica un único sistema de referencia para el reposo y el movimiento.

La noción de tiempo se desprende de todo elemento subjetivo y se simplifica hasta permitir su tratamiento geométrico-matemático, identificando el tiempo absoluto con una recta real, el intervalo de tiempo con un segmento y el instante con un punto de la recta, es decir, con un número real. Y hereda de los números reales sus rasgos matemáticos: una estructura unidimensional, infinita y susceptible de metricidad, es decir, de medir la distancia entre dos instantes.

El éxito del paradigma newtoniano en la investigación científica llevó a entender la noción de leyes de la naturaleza como ecuaciones diferenciales de evolución en el tiempo, en el tiempo absoluto. Por otra parte, la cada vez mayor predictibilidad y, con ella, la creencia en el determinismo absoluto, arraigó profundamente en el pensamiento moderno impregnado por la idea del progreso científico-tecnológico: la condición o el estado de un sistema en un determinado instante permite conocer su estado exacto en cualquier otro momento, ya sea en el pasado –retrodicción- o en el futuro –predicción.

Sin embargo Newton reconoce que es posible que no exista un movimiento uniforme cuya regularidad sea tan exacta que sirva para medir el tiempo absoluto - que además de homogéneo es inmutable porque permanece siempre idéntico a sí mismo en cualquiera de sus partes, partes cuyo orden también es inmutable-. Del

mismo modo que para el espacio -entidad igualmente absoluta- pertenece a la esencia del tiempo absoluto el hecho de ser *lugares*: lejos de ser número o medida del movimiento, el tiempo absoluto de Newton y, como consecuencia, el de toda la ciencia moderna hasta el siglo XX, es condición necesaria para que pueda haber cualquier clase de cambio en el universo. El tiempo relativo tampoco podría darse ya que éste depende de su referencia al tiempo absoluto. En este sentido Nicolás Vaughan, en su artículo titulado *¿Por qué Leibniz requiere del tiempo absoluto?* – cuyo discurso seguiremos en adelante- sugiere que, para captar esta idea, imaginemos el tiempo absoluto como un enorme reloj universal que marca un ritmo extremadamente uniforme al que nuestras mediciones, por el hecho de basarse en movimientos que son relativos y cuya regularidad no es perfecta, procuran acercarse pero nunca consiguen alcanzar. “En relación a ese *tic-tac* todo evento adquiere cronicidad, es decir, adquiere una ubicación inequívoca en la sucesión unívoca de los eventos”,<sup>136</sup> eventos que se suceden en la única línea temporal.

En base a ello el tiempo absoluto adquiere una métrica uniforme. Del hecho de que todo evento esté ubicado inequívocamente en una línea temporal única se desprende la continuidad de la misma a partir, a su vez, de la imposibilidad de que haya algún evento que no se encuentre en alguno de los puntos de esa línea. Sin embargo, sí puede haber puntos de la línea del tiempo absoluto que no acojan ningún evento. Por este motivo la continuidad del tiempo absoluto se limita a establecer que no hay intervalos que sean de una naturaleza distinta a la del tiempo, es decir, que no hay huecos entre dos puntos cualesquiera del mismo.

En cuanto a la estructura interna del tiempo, se trata de un tiempo con métrica homogénea y en el que todas sus partes son conmensurables, es decir, dos eventos corresponden a la misma cantidad de tiempo absoluto sólo si su duración es la misma: todos los segundos absolutos duran lo mismo, son iguales. Y es también esta homogeneidad del tiempo lo que invita a negar la existencia de límites en el tiempo. “Pues si todas las partes del tiempo son homogéneas, no puede haber límites en la línea temporal, esto es, no puede haber partes limitantes en dicha línea”,<sup>137</sup> ya que la existencia de límites impediría que se cumpliera la homogeneidad en los mismos límites.

---

<sup>136</sup> VAUGHAN, C. N. *¿Por qué Leibniz requiere del tiempo absoluto?* Bogotá: Ideas y Valores. Revista Colombiana de Filosofía número 134, Universidad Nacional de Colombia, 2007, p. 25.

<sup>137</sup> VAUGHAN, C. N. *op. cit.* p. 26.

Pero, si el carácter absoluto del tiempo es su rasgo central, su estatuto ontológico adquiere la categoría de substancia aun a pesar de tratarse, junto con el espacio, de un atributo divino. Una substancia dotada de una notable primacía frente a las cosas y los eventos del mundo material: el tiempo es ontológicamente anterior a todo lo que contiene y ocurre en el Universo. En base a estos dos aspectos –su prioridad ontológica y la homogeneidad de su métrica- que comparte con el espacio, se puede afirmar la indiferencia temporal de los eventos, por un lado, y la indiferencia espacial de la materia, por otro. “Esto implica, entre otras, que Dios podría sin contradicción haber creado el mundo material en cualquier otro momento del tiempo absoluto, en cualquier otro “instante absoluto” de la eternidad (y también en cualquier otro “lugar absoluto” de la inmensidad)”.<sup>138</sup>

De hecho, esta idea expresa la concepción mecanicista de la materia según la cual la materia se compone de una infinidad de átomos idénticos entre sí cuya única diferencia radica en su ubicación espacio-temporal. Y todos los fenómenos físicos deben poder ser explicados a partir de las interacciones de naturaleza mecánica que se dan entre ellos. Alejándose considerablemente ya de Aristóteles, se trata, ahora, de una explicación reduccionista que resuelve lo cualitativo en lo cuantitativo.

## **2.2 Tiempo absoluto vs. tiempo relacional**

### *2.2.1 La polémica Leibniz-Clarke*

Leibniz discutirá muchos de los aspectos del tiempo absoluto newtoniano frente al cual defenderá un concepto de tiempo relacional, negando con ello el carácter substantivo, real y absoluto del tiempo de Newton. Y es en la correspondencia mantenida con Clarke -discípulo y portavoz de Newton mediante cuya pluma se expresará el maestro-, que conforma la célebre polémica entre ambos donde se pondrá negro sobre blanco la mayoría de las tesis más importantes de los dos planteamientos en torno a la filosofía de la naturaleza.

---

<sup>138</sup> VAUGHAN, C. N. *¿Por qué Leibniz requiere del tiempo absoluto? op. cit. p. 27.*

La filosofía de Leibniz es una filosofía internamente articulada a través de la noción de orden: el tiempo de Leibniz consiste en el propio orden de sucesión de los eventos, así como el espacio es el orden de coexistencia de las cosas.

La teoría aristotélica del tiempo era una teoría de la duración; la contribución más original de Leibniz al tema fue aventurar una teoría del orden temporal. De hecho, mientras que Aristóteles caracterizó al tiempo como una medida, Leibniz dijo que era un orden, el orden de los acontecimientos no contemporáneos. Pero, precisamente, ¿cómo opera con la magnitud temporal una teoría relacional del tiempo, proyectada para explicar el orden temporal?<sup>139</sup>

Es ésta una concepción relacional según la cual espacio y tiempo no son otra cosa que relaciones entre cosas –en el caso del primero- y entre estados de cosas –en lo que se refiere al tiempo. Si el espacio es el orden de existencia de las cosas que son simultáneas, el tiempo es el orden de sucesión de los estados de cosas que no son simultáneos y es por eso que es el orden general de los cambios, independientemente de la clase de cambio de que se trate.

Esto invierte la relación de dependencia ontológica entre eventos (y las sustancias que participan en éstos) y tiempo, la cual había sido defendida por Newton y Clarke. Para Leibniz únicamente hay tiempo –en el sentido de relaciones de sucesión temporal- si hay eventos temporales, esto es, si las sustancias manifiestan cambios. No tiene sentido, entonces hablar de un tiempo (o espacio) substancial que existe con anterioridad e independencia a los eventos y sustancias materiales. Es así, entonces, como se imbrican la tesis de la relatividad (o más precisamente, de la *relacionalidad*) del tiempo (o espacio) y la tesis de su irrealidad e idealidad.<sup>140</sup>

Como señala Bas van Fraassen, Leibniz “simpatizaba todavía con gran parte de la tradición aristotélico-escolástica. De ahí que se preguntara: ¿cómo se puede ampliar o generalizar la explicación aristotélica de la *duración* a una explicación del *orden temporal*?”<sup>141</sup> La magnitud del tiempo es la duración y si ésta disminuye de manera continua y uniforme, el tiempo desaparece en el momento en que ésta se hace nula. Por lo tanto, ni el espacio ni el tiempo son entes. Su realidad es la realidad que se puede atribuir a una relación. En cuanto al espacio, su magnitud es la extensión y -afirma Leibniz- confundir la extensión con lo extenso es lo que ha llevado a considerar el espacio como una substancia; de la misma manera que el espacio no es *extendido*, el tiempo no *dura*.

<sup>139</sup> VAN FRAASSEN, B.C. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. op.cit. p. 88.

<sup>140</sup> VAUGHAN, C. N. *¿Por qué Leibniz requiere del tiempo absoluto?* op.cit. p. 31.

<sup>141</sup> VAN FRAASSEN, B. C. op. cit. p. 48.

Como señala Van Fraassen, Leibniz fue uno de los primeros filósofos en detectar y subrayar la importancia del *orden* en la teoría del espacio y del tiempo. El tiempo es para él relacional y concebimos el antes y el después cuando percibimos dos acontecimientos que no son simultáneos sino que son sucesivos. Y en esta concepción del orden de las relaciones posibles de esta clase llegamos a la concepción de la idea abstracta de tiempo que no es, pues, algo real sino que se trata de una abstracción producida por la mente. Pero espacio y tiempo no por ello dejan de ser ideas con fundamento en la realidad, la realidad de las relaciones. Y cuando Clarke afirma que el espacio y el tiempo son cantidades, mientras que ni la situación ni el orden no lo son, Leibniz le responde que el orden también tiene su cantidad puesto que entre lo que precede y lo que sigue hay distancia e intervalo. Leibniz se dio cuenta de que la noción de orden es “la base de la consideración de la magnitud o cantidad; en este aspecto se anticipó a la orientación que seguiría el desarrollo de la matemática moderna. Su propia teoría del tiempo y del espacio es fundamentalmente una teoría del orden temporal y espacial”.<sup>142</sup>

Por otra parte, mientras que el espacio expresa la relación de compatibilidad, el tiempo expresa una relación de incompatibilidad pues las cosas que son incompatibles y que, sin embargo, se conciben todas ellas como existentes, se conciben también como sucesivas. Así, pues, para Leibniz

una misma cosa puede ser sujeto de propiedades contrarias: estas determinaciones contrarias pueden existir en la misma cosa con tal que estén *separadas temporalmente*. Su contrariedad no hace (a diferencia de la contradicción) que la existencia de una excluya la existencia de la otra; pero sí las separa. Y si están separadas, forman un dominio de entidades distintas, y este dominio es ordenable. El dominio es la historia del mundo, y el orden es tiempo.<sup>143</sup>

En tanto que son relaciones, el espacio y el tiempo no son substancias. Si lo fueran, su uniformidad y la identidad de sus partes entrarían en contradicción con dos principios fundamentales: el *principio de lo mejor* o de *razón suficiente* y el *principio de los indiscernibles*. Esto significa que, si el espacio fuera un ser real e infinito, en el que las cosas están situadas, Dios podría haber creado el mundo en cualquier otro lugar del espacio y no tendría una razón suficiente para crearlo en una posición mejor que en otra. En cuanto al tiempo ocurre lo mismo: si fuera infinito y real,

---

<sup>142</sup> VAN FRAASSEN, B. C. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. op. cit. pp. 47-48.

<sup>143</sup> VAN FRAASSEN, B. C. op. cit. p. 50.

tampoco habría razón suficiente para crear el mundo antes o después en una serie de instantes absolutos que son indistinguibles entre sí.

En cuanto a la identificación newtoniana del tiempo infinito con la eternidad de Dios, para Leibniz, de ser así, las cosas que son en el tiempo estarían también en la esencia de Dios y, por lo tanto, Dios tendría propiedades que son propias de estas cosas. Así, en el caso del espacio ocurriría que “como tiene partes, no es una cosa que pueda convenir a Dios”.<sup>144</sup> Y, en respuesta al *Escolio General* de los *Principia* de Newton, donde éste afirmaba que espacio y tiempo absolutos manifestaban la omnipresencia divina, Leibniz opondrá que “si el espacio es una realidad absoluta, bien lejos de ser una propiedad o accidentalidad opuesta a la substancia, será más subsistente que las substancias”.<sup>145</sup> Más bien, en ausencia de criaturas, espacio y tiempo no tendrían más existencia que en las ideas de Dios. Leibniz concibe el espacio como un sistema dinámico de posiciones que cambia constantemente, que es movimiento y no puede dissociarse del tiempo en tanto que representa este sistema de relaciones dinámicas en sucesividad.<sup>146</sup>

En definitiva, las nociones de espacio y de tiempo que Newton y Leibniz defienden son, cada una por su parte, representativas de dos concepciones de la naturaleza radicalmente enfrentadas: es la batalla entre una concepción estática y una concepción dinámica del mundo.

Para rebatir el concepto de tiempo absoluto Leibniz pone el foco en una de sus consecuencias más inmediatas: intentará demostrar la falsedad de la tesis de la indiferencia temporal de los eventos. Y en este afán se apoyará en tres de sus principios, a saber: el principio de razón suficiente, el principio de perfección – también llamado del mejor mundo posible- y el principio de identidad de los indiscernibles. El primer principio afirma que ningún hecho puede darse sin que haya una razón suficiente para que sea así y no de otro modo. El segundo principio sostiene que Dios eligió, de entre la infinidad de mundos posibles, la opción más perfecta, la mejor de todas las alternativas con las que contaba. En cuanto al tercero y también llamado *ley de Leibniz* afirma que no es verdadero que dos

---

<sup>144</sup> RADA, E. *La polémica Leibniz-Clarke. op. cit.*, p. 67 (tercera carta de Leibniz).

<sup>145</sup> RADA, E. *op. cit.* p. 79.

<sup>146</sup> Pone, así, en estrecha relación el espacio y el tiempo idea que, de alguna manera puede considerarse precursora del espacio-tiempo que siglos más tarde postulará la teoría de la relatividad.



substancias se parezcan enteramente y difieran sólo en número: si dos cosas son indiscernibles son la misma cosa con distintos nombres.

En base a ello Leibniz afirmará que la tesis de la indiferencia temporal de los eventos –paralelamente a la de la indiferencia espacial de la materia- transgrede el principio de identidad de los indiscernibles al postular que todas las partes del tiempo absoluto son cualitativamente idénticas aunque numéricamente diversas. Ante esto, sin embargo, Clarke niega directamente el principio de identidad de los indiscernibles ya que

Dos cosas, aun siendo exactamente iguales, no dejan de ser dos. Las partes del tiempo son exactamente iguales las unas a las otras, como también lo son las del espacio. Sin embargo, dos instantes no son el mismo instante, ni tampoco son dos nombres de un mismo instante.<sup>147</sup>

En cambio sí es admitido por ambos el principio de razón suficiente, si bien, la interpretación de Clarke es de carácter causal ya que, aunque Dios hubiera podido crear el mundo en cualquier otro instante, lo hizo en uno determinado debido a la razón suficiente de su voluntad. De modo que, en su tercera respuesta a Leibniz, Clarke afirmará:

Indudablemente nada existe sin una razón suficiente para ello más que para no existir, lo mismo que de por qué es así antes que de otra manera. Pero en las cosas indiferentes por naturaleza, esa razón suficiente es la mera voluntad, sin algo externo que influya sobre ella; como en el ejemplo de Dios creando y colocando cualquier partícula de materia en un lugar antes que en otro, como los lugares son originariamente iguales.<sup>148</sup>

Así, pues, debido a la interpretación voluntarista que hace Clarke de la acción divina –frente a la interpretación intelectualista de Leibniz- la voluntad de Dios constituye una razón suficiente para la justificación de sus acciones. Clarke afirma que la existencia independiente del tiempo absoluto es necesaria para afirmar que el mundo ha sido creado por Dios ya que éste podía haberlo creado en un momento anterior o posterior al momento en que lo hizo realmente. Frente a esta interpretación, para la concepción intelectualista la razón suficiente no está vinculada a la voluntad sino al intelecto. Así, para Leibniz “una simple voluntad sin ningún motivo [...] es una ficción no solamente contraria a la perfección de Dios,

---

<sup>147</sup> RADA, E. *La polémica Leibniz-Clarke. op. cit.* p. 90.

<sup>148</sup> RADA, E. *op. cit.* p. 72, citado en VAUGHAN, N. *¿Por qué Leibniz requiere del tiempo absoluto? op. cit.* p. 28.

sino incluso quimérica y contradictoria, incompatible con la definición de voluntad".<sup>149</sup>

En este contexto Leibniz, en su argumentación, deduce el principio de identidad de los indiscernibles a partir del principio de razón suficiente y del principio de perfección: dos particulares indiscernibles pero numéricamente diversos pueden ser intercambiados en sus posiciones espaciales o temporales sin que pierdan su especificidad. En este supuesto, si Dios hubo de evaluar antes de la creación la perfección y bondad de una u otra configuración del mundo –es decir, con los particulares en la primera posición o con los particulares con posiciones intercambiadas- puesto que ambas alternativas son incompatibles y, puesto que, según el principio de perfección, Dios actúa siempre buscando lo mejor y más perfecto, se sigue que, en esta disyuntiva carece de razones suficientes para escoger una u otra configuración puesto que hemos supuesto que ambas eran indiscernibles –salvo numéricamente-. Por lo tanto, Dios no puede crear indiscernibles ni, en general, mundos que los contengan.

Proponer dos cosas indiscernibles es proponer la misma cosa bajo dos nombres. Así, la hipótesis de que el mundo habría podido tener primero otra posición en el tiempo y en el espacio que la que ha llegado efectivamente a tener y de que, por lo tanto, todas las partes del universo habrían tenido la misma posición entre ellas que la que han recibido en efecto, es una ficción imposible.<sup>150</sup>

Así, apoyándose en el principio de perfección y mediante la reducción al absurdo de la indiferencia espacial de la materia y temporal de los eventos, Leibniz refuta la doctrina del tiempo y el espacio absolutos frente a la cual defenderá una concepción, como hemos señalado más arriba, de carácter relacional. Con ello queda invertida la relación de dependencia ontológica entre las sustancias, los eventos, el espacio y el tiempo de manera que la existencia de estos últimos pasa a depender de la de los primeros. Más en concreto, sólo si acontecen eventos, esto es, si se manifiestan cambios en las sustancias, hay tiempo. El tiempo y el espacio, pues, no son entidades substanciales anteriores e independientes de los eventos y de las sustancias materiales. Más aún, no se puede postular la realidad de tiempo y espacio en tanto que entidades substanciales sino, más bien, su idealidad ya que, si no hubiera cosas creadas, ambos, espacio y tiempo, no existirían más que en las ideas de Dios. No son ni sustancias ni tampoco accidentes pero, aunque son algo

---

<sup>149</sup> RADA, E. *La polémica Leibniz-Clarke. op. cit.* p. 28.

<sup>150</sup> RADA, E. *La polémica Leibniz-Clarke. op. cit.* p. 79.

ideal están fundados en la verdad de las cosas, que son reales.

El tiempo no es una substancia ni tampoco una propiedad de las substancias: su estatuto ontológico es ideal. Puesto que no puede haber tiempo sin cambio, si no hay eventos no hay tiempo: si se detuvieran todos los cambios, más que detenerse el tiempo, éste dejaría de existir. Y de este hecho se sigue que, puesto que el tiempo es relativo a los sistemas referenciales -descritos por los propios eventos y substancias- no se puede determinar la duración absoluta de ningún intervalo de tiempo. De hecho, no podría darse un *vacío temporal* –un intervalo de tiempo sin cambios- que fuera medible ya que, estrictamente hablando, tal duración no existe.

En lo que se refiere a la infinitud del tiempo, como dice Vaughan, la concepción relacional niega que el tiempo se extienda sin límite tanto en un sentido –hacia atrás- como en el otro –hacia delante-,<sup>151</sup> y lo niega en base a la afirmación de que el tiempo local es finito en la medida en que el movimiento relativo también lo es:

El relacionismo debe negar, además, el corolario que se deduce de la tesis de la continuidad, a saber, el que afirma que la línea temporal se extiende infinitamente en los dos sentidos. El tiempo local es finito por tanto en la medida en que el movimiento relativo lo es. Si se diera el caso improbable de que algún movimiento relativo fuera infinito, el tiempo relativo necesariamente también lo sería.<sup>152</sup>

Por otra parte, la vinculación entre el espacio y el tiempo con su contenido físico, al hacerlos dependientes de un sistema de referencia u otro, lleva a la negación de la existencia de una única línea temporal absoluta dividida en pasado, presente y futuro ya que no se puede afirmar que un evento cualquiera tenga una ubicación absoluta en dicha línea. Únicamente si nos remitimos a un marco referencial de movimientos al que circunscribir los eventos podemos aplicar dicha división y predicar con ello las relaciones de sucesión, simultaneidad y antecisión de dichos eventos. Además, puesto que no disponemos ya de un marco referencial único, desaparece el principio newtoniano de simultaneidad absoluta.

---

<sup>151</sup> Afirmación que constituye una consecuencia lógica de predicar la homogeneidad estructural del tiempo ya que la existencia de límites supondría la ruptura de dicha homogeneidad.

<sup>152</sup> VAUGHAN, C. N. *¿Por qué Leibniz requiere del tiempo absoluto? op.cit.* p. 33.

La consideración defendida por Clarke de que el mundo pudiera situarse en un instante u otro del tiempo abre paso, para Leibniz, a la posibilidad de la existencia de dos mundos sucesivos en el tiempo y, con ello, del vacío de tiempo en el intervalo que separa ambos mundos, lo cual es un absurdo a rebatir y lo hace en estos términos:

Por último, antes de dejar este asunto, añadiré otra contraposición entre tiempo y lugar que no habéis mencionado; si en el espacio hubiese un vacío (por ejemplo, si una esfera estuviese vacía por dentro), se podría determinar su magnitud; mas si en el tiempo hubiese un vacío, es decir, una duración sin cambios, resultaría imposible saber su longitud.<sup>153</sup>

Así, pues, en la misma línea aristotélica que niega la posibilidad de que se dé un tiempo vacío ya que, al ser éste dependiente del movimiento, sin movimiento ni móvil no habría tiempo, Leibniz niega también que pueda haber tiempo vacío. Y es la ausencia de un sistema de referencia al que atribuir tiempo -en ese supuesto intervalo que se daría entre un mundo y el siguiente- lo que impide hablar de duración ya que ésta es del todo indeterminable debido a que no hay nada que cambie en él.

Como ya hemos señalado más arriba, mientras que la teoría del tiempo de Aristóteles es una teoría de la duración, la teoría del tiempo de Leibniz es una teoría del orden temporal. Y, frente al tiempo newtoniano como entidad concreta, el tiempo de Leibniz es una entidad ideal: en el mismo sentido en que el número de una multitud de entidades concretas -como son los objetos físicos- es una entidad ideal, y también lo es el número de una multiplicidad de acontecimientos, del mismo modo es una entidad ideal su orden temporal. Y cuando este orden temporal abarca la totalidad de los acontecimientos, eso es precisamente lo que llamamos tiempo.

La idea absolutista de homogeneidad en la métrica del tiempo se fundamentaba en la noción de una línea temporal única e independiente, de manera que todo tiempo relativo tenía su correspondencia en el tiempo absoluto. Pero, con la negación de esta unicidad referencial que supone la postulación del tiempo absoluto, para la concepción leibniziana el tiempo pierde, tanto en su métrica como en su estructura, su carácter homogéneo, lo que impide afirmar la conmensurabilidad de diferentes marcos de referencia en cuanto a la métrica de su duración.

---

<sup>153</sup> LEIBNIZ, G. *Nuevos ensayos sobre el entendimiento*. Madrid: Editora Nacional, 1977, p. 177.

Pero –afirmará Leibniz- Dios ha dispuesto las cosas de modo que encajen entre sí las diversas sucesiones continuas de estados internos de las múltiples sustancias, sirviendo, en última instancia, de tiempo absoluto con respecto al cual todos los tiempos se sincronizan. Así, podemos encontrar, como señala Vaughan, una cierta semejanza entre la armonía preestablecida planeada por Dios que postula Leibniz y el tiempo absoluto de Newton, dada la necesidad de una sincronía absoluta en el sistema relacional de Leibniz que garantice la unidad de la creación.

La mónada leibniziana es, además de sustancia simple, la manifestación de un orden que remite a la totalidad del cosmos. Por otra parte, el concepto leibniziano de mónada responde, más que a una entidad corporal delimitada, a algo similar al punto geométrico, de carácter infinitesimal. Se corresponde con el concepto no cuantitativo de límite: “El mínimo corpúsculo está actualmente subdividido hasta el infinito, y contiene un mundo de nuevas criaturas, del que el Universo carecería si fuera un átomo, es decir, un cuerpo, todo de una pieza, sin subdivisión.”<sup>154</sup>

Así, pues, en Leibniz se hace especialmente manifiesto cómo lo lógico influye en la interpretación de lo real. Se trata de un racionalismo metafísico que proporciona una explicación de la naturaleza en base a los principios de la lógica; principios que, de la mano del principio de inteligibilidad del cosmos, propiciaron, junto con otros elementos, la aparición de la ciencia moderna. En este sentido:

En la visión de Leibniz se contempla lo espiritual en la constitución misma de lo material: las mónadas no son materia “sensu stricto”, sino entidades infinitesimales, entidades lógicas, que sin embargo son susceptibles de una intelección metafísica y que, agregadas por vínculo substancial no necesario, forman lo material. La filosofía de Leibniz contemplaba por tanto una indeterminación, un ámbito infinitamente abierto para la razón y no regido por lo empírico, que capacitaba a la física newtoniana (grandemente admirada por el propio Leibniz) para asimilar lo teológico.<sup>155</sup>

Leibniz, que definió la lógica como la ciencia general -que englobaría todo aquello susceptible de ser conocido- y la metafísica como la ciencia de las cosas inteligibles –el entendimiento mismo en la comprensión de lo conocido-, se apoyaba en una serie de principios eminentemente lógicos como premisas fundamentales para su sistema filosófico, tales como el principio de contradicción, principio de identidad de indiscernibles, principio de continuidad o de plenitud, principio de razón suficiente,

---

<sup>154</sup> RADA, E. *La polémica Leibniz-Clarke. op.cit.* p. 85.

<sup>155</sup> BLANCO, C. *Leibniz y la teoría de la relación.* Sevilla: Thèmata. Revista de filosofía, 2005, núm. 34, p. 254.

principio de armonía preestablecida, principio de conveniencia o de perfección, si bien, no todos ellos son principios lógicos sino que algunos, como el de continuidad o armonía preestablecida, pertenecen al ámbito metafísico y cosmológico. En este contexto el tiempo como orden o relación de sucesión constituye un predicado no necesario sino contingente al sujeto en tanto que la conexión entre dos estados sucesivos del sujeto –en tiempos diferentes- también lo es.

En cuanto al movimiento, Leibniz considera su carácter procesual, en virtud de lo cual sus partes nunca se dan o se encuentran presentes a la vez. La totalidad de los momentos del movimiento no es real en ningún instante y por ello lo único que puede ser considerado como real en el movimiento es la *fuerza* que opera en ese momento así como la *tendencia* al cambio. Los momentos del movimiento, debido a esta instantaneidad de la fuerza, se suceden unos a otros y cada estado contiene, de este modo, la condición de continuidad del movimiento. Y también su concepción del tiempo es la de un tiempo como continuidad: en contraposición a la idea cartesiana según la cual los momentos del tiempo están desconectados entre sí Leibniz afirmará su continuidad bajo el supuesto de una fuerza, conato o tendencia que garantiza la conexión de los instantes y que incluye en el presente tanto el pasado como el futuro.

Esta idea fue expresada por Leibniz con la célebre imagen del *presente preñado de futuro*: “es el mismo estado presente en cuanto tiende al siguiente o lo preenvuelve (*prae-involvit*) de modo que todo presente está preñado de futuro”,<sup>156</sup> también expresado de otro modo en este otro pasaje de *Escritos filosóficos*:

Pues así como las flores y hasta los animales mismos ya tienen su formación en la simiente, aunque ésta puede modificarse algo por accidentes que sobrevengan, así cabe decir que el mundo futuro entero está contenido y perfectamente preformado en el mundo presente, por cuanto ningún accidente puede sobrevenirle desde fuera, ya que no hay nada fuera de él.<sup>157</sup>

Inscribiéndose, con ello, en el paradigma mecanicista caracterizado por un claro determinismo que excluye de este modo la novedad en el universo. Se trata de un presente teleológicamente orientado al futuro. Es decir, la serie de estados en que se despliega la substancia implica la unidad en virtud de que los estados futuros están contenidos en el presente y, por lo tanto, todo estado puede ser derivado de

---

<sup>156</sup> LEIBNIZ, G. *Escritos Filosóficos* (GP II 262) citado en PÉREZ QUINTANA, A., *op. cit.* p. 17.

<sup>157</sup> LEIBNIZ, G. *Escritos Filosóficos* (DS 49). Buenos Aires: Editorial Charcas, 1982, p. 384.

su estado precedente. Así, también las sustancias están constituidas como procesos en una serie de estados que se suceden unos a otros.

Es preciso añadir que la serie de estados presupone una ley que funda su unidad. Mientras que la extensión no es capaz de constituir un ser completo, pues sólo expresa un estado presente y nunca el pasado y el futuro (GP, II, p.72), la fuerza debe ser considerada como un ser porque sus estados se vinculan todos unos a otros en virtud de la ley de la serie, que es la naturaleza del ser.<sup>158</sup>

Leibniz crea el término *dinámica* junto con su concepto como una nueva parte de la mecánica que se ocupa del movimiento de los cuerpos y sus causas –las fuerzas– con la intención de proporcionar ese fundamento metafísico a la ciencia, y defiende que, si bien los fenómenos físicos pueden ser explicados mecánica y matemáticamente, sus principios últimos son metafísicos.

La operación de introducir factores dinámicos en la noción de sustancia, liberándola de la vinculación al estaticismo –tan hondamente arraigado en la ontología tradicional de la sustancia– tiene una brillante expresión en la determinación de la sustancia mediante la unión a la categoría de tendencia de la idea de serie de estados regidos por una ley. Para que pueda apreciarse hasta qué punto una dinámica profundamente influida por el cálculo inspira, a través de nociones como sucesión, proceso, serie, ley de serie, tendencia, etc., una significativa renovación de la categoría de sustancia, conviene examinar en qué términos, compatibles con aquellas nociones, va a tener que ser reinterpretada la relación sustrato/accidentes en la nueva concepción.<sup>159</sup>

Leibniz propone la filosofía de la naturaleza aristotélica como fundamento de la física en su pretensión de reconciliar el método científico con Aristóteles; la explicación de Leibniz constituye una síntesis entre mecanicismo y finalismo al conciliar las causas eficientes con las causas finales pues numerosos fenómenos pueden explicarse tanto por una vía como por la otra. Así, encontrará el fundamento del mecanicismo en un dinamismo teleológico y, en este sentido, como expresa en sus *Escritos filosóficos*, gracias a la dinámica, la física queda subordinada a la metafísica:

Ya advertí antes que cuando decimos que todas las cosas de la naturaleza deben explicarse mecánicamente debían exceptuarse las razones mismas de las leyes del movimiento, esto es, los principios del mecanicismo que no se obtienen por

---

<sup>158</sup> PÉREZ QUINTANA, A. *Física y metafísica en Leibniz. op.cit.* p. 18.

<sup>159</sup> PÉREZ QUINTANA, A. *op.cit.* p. 46.

consideraciones de orden matemático y mediante la imaginación del sujeto, sino que deben ser deducidos de una fuente metafísica, a saber, de la igualdad de la causa y el efecto, lo mismo que de otras leyes de este tipo que son esenciales a las entelequias. En suma, como ya se dijo, la física está subordinada por la geometría a la aritmética, por la dinámica a la metafísica.<sup>160</sup>

## 2.2.2 Orden temporal y conexión causal

Newton afirma que “todas las cosas están situadas en el tiempo según el orden de sucesión y en el espacio según el orden de situación”,<sup>161</sup> pero este uso del término *cosas* incurre en una simplificación que podríamos decir que enmascara la esencia del tiempo frente al concepto de espacio. En este sentido es importante, pues, subrayar la distinción entre *cosas*, *estados de cosas* y *acontecimientos*: unos ocurren, acontecen y otras existen, todos en el tiempo, pero su modo de ser no es el mismo y esta distinción ya la señaló Aristóteles en su teoría del tiempo. A este respecto, en nuestro artículo *El paradigma de la complejidad*, decíamos:

La noción de *cambio de estado* fue una de las aportaciones de Galileo a la consolidación del método científico. Llevado por la necesidad de aislar sistemas, esta abstracción le permitiría separar una causa de su efecto. Procedimiento que paulatinamente iría despojando al objeto de cualquier rasgo aparentemente superfluo. Con esta idealización de modelos acabaría por desaparecer, también, toda interacción y actividad espontánea en la materia.<sup>162</sup>

Como ya estableció Aristóteles, no es lo mismo un *acontecimiento* que un *proceso* y ambos se distinguen a su vez del *estado*. Mientras un estado *se da*, un evento *acontece*; y un proceso *ocurre* o tiene lugar cuando un cuerpo cambia de un estado a otro pasando por una serie de estados sucesivos. Por lo tanto, un acontecimiento remite a un cambio repentino y un cambio de estado es un caso límite de un proceso en el que intervienen únicamente dos estados y cuya descripción pasa por la descripción de ese par de estados. “Están directamente en el tiempo aquellas entidades que son los “relata” básicos de relaciones temporales: los *acontecimientos*”.<sup>163</sup> Las relaciones temporales, pues, se dan entre acontecimientos y entre estados que, en este sentido, están directamente en el tiempo, como también lo están los conjuntos de acontecimientos simultáneos -situación o estado

---

<sup>160</sup> LEIBNIZ, G. *Escritos Filosóficos*. Buenos Aires: Editorial Charcas, 1982, p. 440.

<sup>161</sup> NEWTON, I. *Principios matemáticos de filosofía natural*. *op. cit.* pp. 34-35.

<sup>162</sup> ORTIZ GALILEA, J. *El paradigma de la complejidad*. *Ibid.*

<sup>163</sup> VAN FRAASSEN, B.C. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. *op. cit.* p. 44.



de cosas- y las series de acontecimientos sucesivos –procesos-. Pero las cosas físicas están en el tiempo de forma indirecta ya que los acontecimientos –que lo están directamente- les acaecen y son estados de estos objetos.

En cualquier caso, Leibniz fue el primero en percatarse de la importancia de la cuestión del orden para la teoría del tiempo y del espacio al considerarlo fundamental para explicar el concepto de magnitud o cantidad, anticipándose con ello a la orientación que tomaría la matemática moderna más adelante. Así, la teoría del tiempo –y del espacio- de Leibniz es una teoría del orden temporal –y espacial- lo cual Clarke consideraría –como hemos señalado con anterioridad- un desacierto ya que ni la situación ni el orden son cantidades mientras que el tiempo y el espacio sí lo son.

Pero, como señalábamos más arriba, Leibniz intentaba generalizar la explicación aristotélica de la duración a una explicación del orden temporal. Como hemos visto, para Aristóteles la duración o cantidad de tiempo es la medida del cambio según lo anterior y lo posterior, lo que presupone los conceptos de cambio físico o proceso, magnitud o medida y orden temporal, por un lado, y el de sustancia física substrato de determinaciones o predicados, por otro. Una misma cosa –recordemos- puede ser sujeto de determinaciones contrarias siempre y cuando estas determinaciones no coincidan en el tiempo. Esta contrariedad, a diferencia de la contradicción, no significa que la existencia de una determinación excluya la de la otra sino que, únicamente, están separadas temporalmente estableciéndose así un orden que es el propio tiempo. Y Leibniz, siguiendo la estela aristotélica, llamará simultáneos a varios estados de cosas que no contienen nada opuesto y, en base a esta definición se puede decir que lo que acontece a una misma cosa en tiempos diferentes nunca será simultáneo porque cada uno de estos estados es incompatible u opuesto al otro. Y en este aspecto Van Fraassen nos remite al comienzo de la obra de Leibniz *Fundamentos metafísicos de la matemática*, donde éste afirma:

Dada la existencia de una multiplicidad de circunstancias concretas que no se excluyen mutuamente, las denominamos *contemporáneas* o *coexistentes*. De aquí que consideremos los acontecimientos de años pasados como no co-existiendo con los del año presente, ya que están calificados por circunstancias incompatibles. *El tiempo es el orden de las cosas no-contemporáneas*. Constituye así el orden universal del cambio en el cual ignoramos la clase específica de cambios que ha tenido lugar.<sup>164</sup>

---

<sup>164</sup> LEIBNIZ, G. *Fundamentos metafísicos de la matemática*, citado en VAN FRAASSEN, B.C., *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. op.cit. p. 50.

Y estas circunstancias separadas temporalmente están ordenadas en base a su relación causal:

Si uno de dos estados no simultáneos envuelve la razón del otro, aquél se considera anterior, éste posterior. Mi estado anterior envuelve la razón de que exista el posterior. Y como mi estado anterior, debido a la conexión de todas las cosas, envuelve también el estado anterior de las otras cosas, mi estado anterior envuelve asimismo la razón del estado posterior de las otras cosas, y por lo tanto es anterior a este estado de ellas. Y por esto, cada existente es simultáneo con, o anterior o posterior a otro existente. El tiempo es el orden de existir de los que no son simultáneos. Y por esto es el orden general de los cambios, en que no se tienen en cuenta las diversas especies de cambios.<sup>165</sup>

En otras palabras, los diversos estados de cosas se relacionan entre sí como la causa se relaciona con el efecto y, por definición, la causa es anterior al efecto; las relaciones que Leibniz señala entre las circunstancias o acontecimientos son la exclusión mutua o contrariedad y la calificación y los acontecimientos son contemporáneos si y sólo si no son contrarios y no están calificados por acontecimientos contrarios, es decir, por acontecimientos que tienen propiedades contrarias y envuelven al mismo objeto.

La teoría del orden temporal de Leibniz, pues, establece que el tiempo es el orden de los acontecimientos que no son contemporáneos y lo define introduciendo una relación asimétrica, la de causalidad o, lo que es lo mismo, la de *contener el fundamento de*. Así, un acontecimiento es anterior a otro si y sólo si contiene el fundamento de éste, o bien, lo contiene algún otro acontecimiento que le sea contemporáneo.

Aquí, las relaciones temporales fundamentales son la anterioridad y la contemporaneidad o simultaneidad mientras que las relaciones de contrariedad, calificación y causalidad son relaciones entre acontecimientos -de las cuales, sólo la relación de causalidad es asimétrica- en las que Leibniz se basará para definir las primeras. Se establece un escenario en el cual los acontecimientos que no son contemporáneos, -es decir, los que suceden en relación de anterioridad y posterioridad- no pueden ser todos compatibles entre sí. Pero esta condición no obliga a que dos acontecimientos que no son contrarios sean simultáneos y, por lo

---

<sup>165</sup> LEIBNIZ, G. *Fundamentos metafísicos de la matemática. op.cit.* pp. 50-51.

tanto, podemos imaginar un intervalo durante el cual se suceden una serie de acontecimientos que son todos compatibles entre sí.

Supongamos en la historia del mundo un corto intervalo durante el cual todos los acontecimientos son compatibles unos con otros; y durante el cual, sin embargo, unos acontecimientos tienen lugar *después* que otros. ¿Es esto posible? Esto lleva como consecuencia necesaria que durante ese intervalo no cambie nada, ya que el cambio es el paso de un término o estado a otro contrario. Es decir, la posibilidad de la situación descrita presupone que puede haber un lapso de tiempo en el que no hay cambio. Y esto (que el tiempo es independiente del cambio) contradice a la tradición filosófica aristotélica, tradición que Leibniz quiere respetar.<sup>166</sup>

La definición de anterioridad temporal en términos de causalidad presupone que todo lo que acontece tiene una causa en cualquier tiempo anterior. Sin embargo existe la posibilidad de estados que no son contemporáneos según la definición de contemporaneidad de Leibniz –esto es: si y sólo si no son contrarios, es decir, que no se excluyen mutuamente, y no están calificados por acontecimientos contrarios- pero que, según esta teoría, no pueden ser definidos como posterior o anterior el uno respecto del otro, como hemos visto.

Para subsanar este inconveniente Leibniz recurre a la relación de causalidad universal -relación que, más tarde, no superaría la crítica de Hume. En definitiva, como concluye Van Fraassen, “no podemos esperar que Leibniz conteste a las preguntas de Hume medio siglo antes de que éste las hiciera. Pero desde una perspectiva contemporánea, no podemos menos que lamentar la confianza de la teoría del tiempo de Leibniz en la teoría racionalista de la causalidad”.<sup>167</sup>

A esta propuesta de Leibniz objetará Kant –en su *Dissertatio*<sup>168</sup>- que no se puede definir el orden temporal en términos de incompatibilidad de ciertos estados de cosas ya que la misma noción de simultaneidad forma parte del significado de esta incompatibilidad. Pero, como señala Van Fraassen,<sup>169</sup> el hecho de que las nociones de *simultáneo* y *mutuamente incompatible* no sean conceptualmente independientes no establece por ello una jerarquía entre ambos conceptos ya que cualquiera de los dos es susceptible de ser definido a partir del otro y puede participar en su definición.

---

<sup>166</sup> VAN FRAASSEN, B.C. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio. op.cit.* pp. 52-53.

<sup>167</sup> VAN FRAASSEN, B.C. *op.cit.* pp. 56-57.

<sup>168</sup> KANT, I. *La disertatio de 1770*. Madrid: C.S.I.C. Edición Bilingüe, 1961.

<sup>169</sup> VAN FRAASSEN, B.C. *op.cit.* p. 59.

Ya iniciado el siglo XX, Georges Lechalas (1851-1919) –que fue el primero en utilizar la expresión *teoría causal del tiempo*- intentará definir el orden temporal en términos de causalidad universal y en base a los conceptos propios de la física clásica. Considera que la sucesión temporal de los estados de un sistema mecánico está implícitamente descrita por las leyes de la física pues los estados de un sistema se determinan unos a otros siendo los determinantes anteriores a los determinados.

### **2.3 El entramado conceptual de la física clásica**

Como es manifiesto y conocido, fue la concepción absolutista newtoniana la que se impuso en el mundo del saber científico y filosófico sobre la concepción relacional defendida por Leibniz. Pero, además de la mecánica de Newton, la física clásica se fundamenta en otro sólido pilar: la geometría de Euclides. Ambas se basan en hábitos muy arraigados en la imaginación y el pensamiento y es este carácter intuitivo lo que facilitó su afianzamiento como las herramientas perfectas para hacer ciencia y, con ello, iniciar el camino de la comprensión racional del funcionamiento de la naturaleza. Y la imagen de la naturaleza que esta combinación ofrecía consistía en una imagen cinético-corpúscular de la materia. Un universo que era un inmenso y homogéneo agregado de materia, en cantidad finita e invariable, pero cuya configuración espacial se modificaba continuamente según las leyes inmutables de la mecánica newtoniana. Y, en este esquema, los conceptos de espacio, tiempo, materia, movimiento y causalidad se basaban también en elementos intuitivos inspirados en la aprehensión sensible proporcionada por los sentidos –fundamentalmente la vista y el tacto- a pesar de su carácter absolutamente abstracto.

Podríamos decir que si el espacio absoluto es un infinito número de puntos, el tiempo absoluto es un infinito número de instantes. El tiempo de Newton es un tiempo geométrico, espacializado y, puesto que éste es uno de los rasgos característicos del concepto de tiempo de la física clásica –su radical espacialización-, expondremos en primer lugar –y siguiendo aquí a Milic Capek en su obra titulada *El impacto filosófico de la física contemporánea*- las principales

propiedades del espacio absoluto para, después, efectuar un reconocimiento de las mismas, en la medida en que se den en el concepto de tiempo absoluto.

Este concepto de espacio consiste en una substancia homogénea cuya rígida e intemporal estructura es perfectamente descrita por los axiomas y teoremas de la geometría euclidiana; es continente inmutable radicalmente diferenciado de su variable contenido físico, la materia. Y es esta separabilidad lógica entre continente y contenido lo que hace posible el movimiento como desplazamiento. En la base de esta idea se detecta el rastro del atomismo griego que preparó el camino de esta radical separación. El espacio puede existir sin la materia pero ésta, que ocupa posiciones en el espacio de manera contingente, no puede existir sin aquél. El espacio, pues, es ontológicamente anterior a su contenido material. Fue Henry More quien observó que los atributos del espacio coinciden con los atributos divinos – tales como ser uno, simple, inmutable, eterno, completo, independiente, existente por sí, subsistente, incorruptible, necesario, inmenso, increado, incircunscripto, *incomprehensible*, omnipresente, incorpóreo, que todo lo penetra, ser en acto, acto puro-, con lo que el vacío de los atomistas ateos vendría a identificarse, para Henri More, con la extensión de Dios y con la condición de su acción en el mundo

Si la anterioridad lógica del espacio con respecto a su contenido era un dogma que no se cuestionaba, Newton, Gassendi y Henri More fueron más allá atribuyendo al espacio, además, una anterioridad temporal. El espacio absoluto, en tanto que atributo de Dios, era anterior en el tiempo a la creación del mundo, aunque también es cierto que la anterioridad lógica del espacio no es incompatible con la coetaneidad de ambos como, en esta línea, se podría desprender de la concepción cartesiana de la res extensa, que identificaba contenido y continente materiales.

Como muestra Milic Capek, de la hipótesis de la homogeneidad del espacio se desprenden prácticamente todas sus otras propiedades, véase, independencia del contenido físico, infinidad y continuidad, relatividad de la posición y de la magnitud, inacción causal e inmutabilidad.

Íntimamente relacionada con la independencia e inmutabilidad del espacio está su *homogeneidad*; en realidad, como veremos, su independencia e inmutabilidad nacen

de su homogeneidad. Lógicamente, habría sido mejor empezar por la homogeneidad del espacio y señalar todo lo que está implícito en ella.<sup>170</sup>

La homogeneidad se establece en el momento en que se separan conceptualmente contenido y continente, operación, ésta, que llevó a cabo el atomismo griego para el cual toda diversidad cualitativa del mundo se debe a las diferentes configuraciones de posición, forma y movimiento de la materia y sus componentes, en lugar de obedecer a alguna diferenciación intrínseca del propio espacio, como sí postulaba Aristóteles con su teoría de los lugares naturales que describía un espacio cualitativamente heterogéneo. Y la homogeneidad del espacio implica relatividad de posiciones ya que en esta circunstancia todas las posiciones son equivalentes.

Consecuencias inmediatas de esta homogeneidad del espacio son su inmutabilidad y la independencia del espacio de su contenido físico: en lo único que difieren las partes del espacio que están ocupadas por materia de las que no lo están es en que las unas están fuera de las otras. Sólo de un modo secundario y temporal difieren entre sí a causa de su contenido o falta de contenido; el cambio pertenece, se atribuye, únicamente a los átomos, partículas y cuerpos contenidos en él.

Además de esta separabilidad y de su inmutabilidad, también se desprende de la homogeneidad del espacio su infinitud y continuidad (continuidad matemática, esto es, su infinita divisibilidad). La infinitud, en virtud del segundo postulado de Euclides que afirma que todo segmento rectilíneo puede extenderse más allá de sus extremos. En cuanto a la infinita divisibilidad –su continuidad- la relación de yuxtaposición es universal y relaciona a cualquier pareja de puntos para los cuales, por pequeño que sea el intervalo que los separa, éste nunca será nulo pues cada uno de los puntos es externo con respecto al otro y los dos constituirán siempre los extremos de dicho intervalo. Así, dice Capek: “Afirmar que ciertos intervalos de espacio son indivisibles significa que es imposible discernir partes yuxtapuestas entre ellos; pero como la yuxtaposición es la propia esencia de la espacialidad, jesto significaría que tales intervalos están en sí faltos de espacialidad!”<sup>171</sup> En este contexto conceptual del espacio clásico la indivisibilidad sólo puede atribuirse a las longitudes cero, esto es, a los puntos. Este presupuesto de divisibilidad infinita está implícito también en el primer postulado de Euclides según el cual siempre es

---

<sup>170</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea*. Madrid: Editorial Tecnos, 1965. p. 35.

<sup>171</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea*. *op. cit.* p 40.

posible trazar una línea recta entre dos puntos, por muy pequeña o muy grande que sea su proximidad.

En cuanto a la inmutabilidad del espacio, aunque se deducía directamente de la hipótesis de que los cambios únicamente podían darse en los cuerpos -el contenido físico del espacio- en virtud de su homogeneidad, sin embargo, en realidad –dice Milic Capek- esta deducción no es correcta ya que el espacio podría dilatarse uniformemente en todas direcciones, lo que constituiría un cambio pero no la pérdida de homogeneidad. Así pues, se puede derivar la inmutabilidad del espacio de su homogeneidad únicamente

a menos que ésta también se entienda tácitamente como homogeneidad *en el tiempo* y no simplemente como homogeneidad de partes simultáneas del espacio; pues el cambio del espacio implicaría *heterogeneidad en el tiempo*. Sin embargo, precisamente este más amplio sentido de la *identidad a través del tiempo* se suponía tácita o incluso explícitamente cuando se hablaba de la homogeneidad del espacio.<sup>172</sup>

Es decir, si se diera algún cambio en el espacio en este sentido podríamos hablar de heterogeneidad del espacio en el tiempo, pero esta posibilidad era rechazada porque ello implicaría reconocer una conexión causal entre el espacio y las cosas, algo inaceptable pues destruiría la geometría euclidiana en uno de sus principios más fundamentales: el espacio es independiente de su contenido y, también, del tiempo, del mismo modo que el tiempo lo es del espacio y de los acontecimientos. En este sentido –señala Capek- el propio Bertrand Russell rebatiría así la idea de un *espacio constante variando con el tiempo*:

Esto implicaría una conexión causal entre el espacio y otras cosas, que parece apenas concebible, y que, si la consideramos como posible, de seguro que debe destruir la geometría, puesto que la geometría depende enteramente de la insignificancia de la causación. Además, en todas las operaciones de medición se invierte algún tiempo; a menos que supiésemos que el espacio es inmutable durante toda la operación, es difícil ver cómo podrían ser fidedignos los resultados, y cómo podría ser descubierto, por consiguiente, un cambio en el parámetro. En realidad, surgirían las mismas dificultades que las que resultan de suponer que el espacio no es homogéneo.<sup>173</sup>

En cuanto al concepto de tiempo, como hemos dicho, en el marco de la física clásica adquiere los rasgos que son propios del espacio y que acabamos de

---

<sup>172</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 51.

<sup>173</sup> RUSSELL, B. *Un ensayo sobre los fundamentos de la geometría*, Dover: 1956, p. 49. Citado por CAPEK M. *op. cit.* p. 51.

enunciar. Mientras que el espacio se definía como un agregado tridimensional de términos homogéneos coexistentes en una relación básica de yuxtaposición, el tiempo se consideraba un agregado, de una sola dimensión, de términos dispuestos en una relación de sucesión. En ambos casos se trata de clases de agregados, ambos homogéneos y, como ocurría en el concepto de espacio, también las propiedades fundamentales del tiempo se deducían de su homogeneidad: su independencia respecto de su contenido -que en este caso son los acontecimientos, sucesos y eventos,<sup>4</sup> como las cosas lo son para el espacio-, la infinitud, la continuidad y la uniformidad -que es una réplica de la inmutabilidad propia del espacio.

Como señala Capek, el tiempo de la física moderna fluye, se produzcan o no cambios en las cosas que contiene. Así, podemos decir que los cambios están en el tiempo, no son el tiempo y, por supuesto, el tiempo no está en ellos. Tiempo y cambio o movimiento están separados conceptualmente, no dependen entre sí salvo en el hecho de la métrica del tiempo para lo cual se utiliza el movimiento más regular hallado en la naturaleza que permitirá acercarse en la medida de lo posible a la regularidad del tiempo absoluto. Así como el espacio no implica materia, tampoco el tiempo implica movimiento.

Siguiendo el rastro de esta idea llegamos incluso al siglo XX, de nuevo con Bertrand Russell quien, en defensa de la concepción de tiempo absoluto hace explícita esta distinción entre el tiempo y las cosas que contiene afirmando, también, que la ausencia de movimiento o cambio no afecta al flujo regular propio del tiempo y el contenido físico del tiempo no se deriva tampoco del tiempo en sí:

En la teoría absoluta tenemos dos clases de entidades: 1) las que son posiciones; 2) las que tienen posiciones. Dos términos cualesquiera de la primera clase tienen una relación transitiva asimétrica; en el presente caso, o *antes* o *después*. Los términos que tienen posiciones son términos de los que cada uno tiene, con uno o más de los términos que son posiciones, cierta relación específica, que se puede expresar diciendo que los nuevos términos están en las posiciones, o que ocupan las posiciones.<sup>174</sup>

De hecho -señala Capek- los conceptos de materia y movimiento no pueden deducirse lógicamente de los conceptos de espacio y de tiempo respectivamente. El

---

<sup>174</sup> RUSSELL, B. *¿Es la posición en el espacio absoluta o relativa?* Mind: 1901, p. 294. Citado por CAPEK M. *op. cit.* pp. 53-54.



uso de términos como *ocupación* o *posición* es característico del pensamiento moderno y pone de manifiesto su origen espacial. Aunque espacio y tiempo son independientes se da una analogía entre ambos en muchos aspectos. Incluso, parafraseando a Isaac Barrow, podemos decir que el tiempo de la física clásica es en cierto modo el *espacio del movimiento*<sup>175</sup> y sólo hay que observar nuestro lenguaje –y nuestro pensamiento- para comprobar hasta qué punto esta distinción entre contenido y continente en cuanto al concepto de tiempo ha llegado hasta nuestros días. La homogeneidad del tiempo absoluto subyace a los cambios que, considerados cualitativamente e incluso considerados de forma reduccionista como simples cambios de posición –como prefiere la teoría cinético-corpúscular del mecanicismo clásico-, sugieren la noción de heterogeneidad. Mientras que los momentos sucesivos de la transformación física son diferentes, si no cualitativamente, al menos en sus aspectos geométricos y dinámicos, los instantes sucesivos del tiempo absoluto, que es el verdadero, el matemático, carecen de toda diferenciación entre sí que no sea la que resulta de la propia sucesión: las diferentes posiciones que ocupan en la serie temporal. Cualitativamente, por lo tanto, los instantes temporales son equivalentes entre sí. El tiempo, pues, tiene una anterioridad lógica con respecto al cambio y es precisamente su independencia lo que permite hablar de diferentes momentos de duración cuando no parece producirse ningún cambio.

Lo mismo que la relación de yuxtaposición hace que sea posible distinguir dos entidades cualitativamente idénticas y simultáneamente existentes, así la relación de sucesión hace que sea posible distinguir dos estados cualitativamente idénticos de una sola e idéntica entidad. En este sentido, el tiempo es análogo al espacio en ser un *principio de diferenciación de un género distinto al cualitativo*. (Éstas son palabras de Bergson acerca del espacio, pero se aplican también al tiempo clásico; de aquí la afirmación de Bergson de que el tiempo matemático es meramente un espacio disfrazado).<sup>176</sup>

También en el caso del tiempo se deducen directamente de su homogeneidad otras propiedades como son su infinitud y su continuidad. La infinitud implica ausencia de un momento primero o inicial, en el pasado y de un momento último o final, en el futuro. El carácter privilegiado que tendrían estos dos momentos los haría incompatibles con la homogeneidad postulada para el tiempo: si éste es homogéneo todo instante debe tener un instante posterior y uno anterior. El mundo

---

<sup>175</sup> BARROW, I. *On Space and Impenetrability*, conferencia X. Citado por CAPEK M. *op. cit.* p. 55.

<sup>176</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea*. *op. cit.* p. 56.

creado es creado en uno de los instantes del tiempo, que es increado y eterno. El mundo tiene un *principio en el tiempo* pero no hay un *principio del tiempo*.

La lógica inherente en la filosofía de Barrow, More, Gassendi, Newton y Clarke, requería la existencia del tiempo aun *antes* de la creación del mundo, o sea, la existencia de la duración sin principio, falta de todo contenido físico hasta la fecha de la creación.<sup>177</sup>

En lo que se refiere a su continuidad, ésta también se deduce lógicamente de su homogeneidad análogamente a lo ocurrido con el concepto de continuidad en el espacio. Como el mismo Kant señalaría en la *Crítica de la Razón Pura*, por muy estrecho que sea un intervalo temporal sus límites siempre se encuentran en relación de sucesión uno con respecto del otro. No cabe afirmar la existencia de átomos de tiempo o intervalos mínimos de tiempo ya que en estos se paralizaría el curso temporal al desaparecer la posibilidad de distinguir otros tantos momentos sucesivos en su interior. Afirmar una estructura atómica del tiempo incluye la contradicción de que en tal caso los intervalos de tiempo no serían temporales. La divisibilidad del tiempo, pues, no encuentra límites. Únicamente se puede atribuir indivisibilidad a los instantes sin duración; independientemente de que éstos puedan considerarse como meros límites ideales, nunca alcanzados realmente en un proceso de división, para la física clásica cada intervalo de tiempo contiene realmente un número infinito de instantes sin duración.

Cuando la física clásica, desde los tiempos de Galileo hasta Bertrand Russell, no dejó de insistir en que cada intervalo de tiempo contiene un número realmente infinito de instantes sin duración, su motivo nacía de que nuestra imaginación se negaba a concebir un límite a la divisibilidad del tiempo. Un límite semejante es considerado como arbitrario y, en definitiva, incompatible con la naturaleza del tiempo.<sup>178</sup>

El cálculo infinitesimal, inventado en paralelo por Newton y Leibniz –circunstancia que contribuyó a aumentar la rivalidad entre ambos- condicionó la mente de los físicos llevándoles a aceptar la infinita divisibilidad de espacio y tiempo como un dogma incuestionable. Por otra parte, su aplicación a la física mostró el reposo como el mínimo de todos los grados posibles de movimiento de modo que el reposo pasaba de ser lo contrario al movimiento o su negación, a ser un caso especial de éste: un movimiento mínimo.

---

<sup>177</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 57.

<sup>178</sup> CAPEK, M. *op. cit.* p. 58.

La uniformidad del flujo temporal -aunque no se puede hallar ninguna evidencia empírica de la misma dada la inaccesibilidad del tiempo a la observación empírica directa<sup>179</sup> - ésta era considerada como una prueba de su carácter absoluto. Por el contrario, la no uniformidad del tiempo supondría una contradicción para su supuesta pasividad o inacción causal. Kant, cuya noción de espacio y tiempo se puede inscribir, en cierto sentido, en el paradigma newtoniano de la física clásica, insistió también en el carácter invariable o uniforme del tiempo afirmando que el tiempo en sí no se altera sino únicamente lo que está en él. En un tiempo homogéneo cuyos diferentes instantes únicamente difieren por sus posiciones en la serie temporal no se pueden producir cambios físicos únicamente a partir de ese fluir regular. Las dudas al respecto no aparecerían hasta el siglo XX.

La homogeneidad del espacio y del tiempo, en definitiva, permitía fundamentar la afirmación de la unidad de la naturaleza en el tiempo, es decir, la creencia en la universalidad intemporal de las leyes de la naturaleza, creencia que por otra parte, era imprescindible para sustentar un conocimiento científico que se encontraba en los primeros momentos de su brillante camino.

Leyes como la de la conservación de la energía o la de la inercia tenían su fundamento en el presupuesto de inacción causal y la homogeneidad del tiempo, por un lado, y su independencia del espacio con respecto del tiempo por otro. Lo contrario de este último presupuesto implicaría suponer la eficacia causal del tiempo sobre el espacio y esto no era un supuesto admisible en la concepción clásica del tiempo y el espacio absolutos que servían de marco a la ciencia moderna. Y fue Kant quien aportó mayor radicalidad a esta separación entre el espacio y el tiempo - que duraría hasta la aparición en escena de la teoría de la relatividad: al afirmar que el tiempo sólo tiene una dimensión y que los diferentes tiempos no son simultáneos sino sucesivos, del mismo modo que los diferentes espacios no son sucesivos sino simultáneos, apuntalaba la hipótesis de la intemporalidad del espacio junto con la *inespacialidad* del tiempo.

Sin embargo, la idea de intemporalidad del espacio presenta una serie de dificultades y contradicciones. En primer lugar, el supuesto de que los términos en relación de yuxtaposición sean considerados como simultáneos, esto es, como

---

<sup>179</sup> Esta imperceptibilidad del espacio y el tiempo -observa Capek- servirá posteriormente a los neokantianos como prueba de su estatus únicamente epistemológico, es decir, de que no son objetos de la experiencia porque precisamente su realidad consiste en ser las condiciones trascendentales que la hacen posible.

existiendo al mismo tiempo, no es posible sin la referencia al tiempo -aunque Kant intentará sortear esta dificultad negando a la simultaneidad la categoría de relación temporal-. En segundo lugar, la observación del movimiento que se da en el espacio pone de manifiesto que éste permanece en el tiempo

pero este espacio intemporal es meramente una conveniente etiqueta aplicada a lo que es en verdad una *serie infinita de espacios instantáneos sucesivos* que, aunque cualitativamente idénticos, aún difieren por sus posiciones en el curso universal del tiempo.

Así, aunque es cierto decir que el espacio clásico era inmutable, no es cierto que fuese intemporal. Como ya hemos indicado, la inmutabilidad y la duración no eran incompatibles según la doctrina clásica del tiempo.<sup>180</sup>

Únicamente se podía atribuir la propiedad de intemporalidad a los espacios sucesivos individuales, cada uno de ellos conteniendo relaciones de yuxtaposición, es decir, nada más que relaciones de orden espacial. En base a esto se podría afirmar una especie de anterioridad ontológica del tiempo con respecto al espacio en el sentido de que parecería que aquél podría considerarse receptáculo, incluso, de este último. Esta idea sería contemplada posteriormente por Alfred North Whitehead, que afirmaría que era éste el supuesto implícito en la ciencia clásica.<sup>181</sup> Sin embargo esta subordinación del espacio al tiempo no fue suficientemente manifiesta y lo que prevaleció fue precisamente lo contrario: el tiempo fue subordinado al espacio hasta el punto de llegar a negarse su realidad objetiva. Y esto se debió precisamente –según afirma Capek en clara sintonía con Bergson, como veremos más adelante- al hecho de que las propiedades del tiempo del paradigma clásico newtoniano no eran sino una analogía de las propiedades del espacio.

## 2.4 Movimiento y materia en la física clásica

Como hemos visto, en el paradigma newtoniano el tiempo y el espacio son absolutos y substanciales, completamente ajenos al movimiento que se produce en su seno. Y en este escenario nos interesa averiguar en qué consiste ahora el movimiento y cuál es la concepción que de él tiene la física moderna, pues no

---

<sup>180</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 68.

<sup>181</sup> WHITEHEAD, A.N. *El concepto de Naturaleza*, mencionado en CAPEK, M. *op. cit.* p. 69.

podemos olvidar el papel fundamental que el movimiento tiene en el concepto de tiempo aristotélico. Las leyes del movimiento de Newton afirman que:

- 1) *Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas.*<sup>182</sup> Es decir: un cuerpo continúa en su estado de reposo o movimiento rectilíneo y uniforme si sobre él no actúa una fuerza. Es conocida también como la *ley de inercia*.
- 2) *El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza.*<sup>183</sup> En otras palabras: si una fuerza actúa sobre un cuerpo, entonces el cuerpo adquiere una aceleración en la dirección de dicha fuerza, y la magnitud de esta aceleración es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.
- 3) *Para toda acción hay siempre una reacción opuesta igual. Las acciones recíprocas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias.*<sup>184</sup> Las fuerzas que dos cuerpos se ejercen mutuamente son equivalentes en intensidad y tienen sentidos contrapuestos de una misma dirección.

Todas ellas presuponen la existencia del espacio absoluto. Pero, puesto que Newton era consciente de que éste no podía ser objeto de observación directa introdujo el concepto de espacio relativo que serviría como marco de referencia para el movimiento. Señalando además algún cuerpo que pudiera ser considerado inmóvil, se puede establecer la definición de los diferentes lugares en el espacio y, con ello, del movimiento relativo, que queda claramente diferenciado del movimiento absoluto. El movimiento relativo se da cuando varía con el tiempo la distancia o cualquier otra relación espacial entre los cuerpos que están situados en el espacio, esto es, cuando se produce el movimiento local. Los espacios relativos son y pueden ser muchos aunque uno de ellos coincide con el espacio absoluto lo que implica que, cuando dos cuerpos están en movimiento relativo uno con respecto al otro, por lo menos uno de ellos se encuentra en movimiento absoluto, es decir, en

---

<sup>182</sup> NEWTON, I. *Principios matemáticos de filosofía natural. op. cit.* p. 41.

<sup>183</sup> NEWTON, I. *Principios matemáticos de filosofía natural. ibid.*

<sup>184</sup> NEWTON, I. *op. cit.* p. 42.

movimiento con respecto al espacio absoluto. Newton se servirá precisamente del movimiento absoluto para demostrar la existencia del espacio absoluto:

Una propiedad afín a la precedente es que si un lugar se mueve, todo lo allí situado se mueve con él; por consiguiente, un cuerpo que se mueve desde un lugar en movimiento participa también del movimiento de su lugar. Por lo cual todos los movimientos provenientes de lugares en movimiento no son sino partes de movimientos íntegros y absolutos, y cada movimiento íntegro está compuesto por el movimiento del cuerpo desde su primer lugar y el movimiento de ese lugar con respecto a su lugar, y así sucesivamente, hasta llegar a algún lugar inmovido, como en el ejemplo antes mencionado del marino. En esa medida los movimientos íntegros y absolutos sólo pueden determinarse mediante lugares inmovidos, y por tal razón referí antes esos movimientos absolutos a lugares inmovidos, refiriendo los relativos a lugares móviles. Ahora bien, sólo son inmovidos los lugares que retienen eternamente la misma posición dada unos respecto de otros, por lo cual deben permanecer para siempre inmovidos, constituyendo lo que llamo espacio inmóvil.<sup>185</sup>

Leibniz, por su parte, acepta esta distinción entre movimiento absoluto y movimiento relativo pero, para evitar la posibilidad de que esto lleve a la aceptación del espacio absoluto deja claro que el movimiento verdadero absoluto que él menciona no significa lo mismo que el movimiento verdadero absoluto de Newton. Para Leibniz la distinción entre el movimiento relativo y el movimiento absoluto no se establece en referencia a un espacio absoluto sino en relación a la causa del movimiento: si está en el propio cuerpo o si, por el contrario, proviene de una fuerza externa a él. Tanto para Newton como para Leibniz, la causa del movimiento en los cuerpos es la fuerza.

En cuanto al término "*inercia*", éste no tenía en el siglo XVII el mismo significado que tiene en la ciencia contemporánea. Si para Kepler inercia significaba una tendencia natural de la materia a retener su posición en el espacio, es decir, una resistencia al movimiento, después de Galileo y Descartes el significado del término se ve ampliado con la idea de que la materia ya en movimiento tiene la tendencia de persistir en el mismo y resiste las fuerzas que se le oponen para reducir su velocidad. Es decir, lo que en principio era resistencia al cambio de posición, al movimiento de traslación, después se convertiría en resistencia al cambio de velocidad. Y ello, incluso cuando la inercia es reconocida como la propiedad básica de la materia, junto con su impenetrabilidad, abundaría en aquella necesidad de explicar el movimiento frente al reposo, movimiento que en este contexto podría ser

---

<sup>185</sup> NEWTON, I. *Principios matemáticos de filosofía natural. op.cit.* p. 36.

explicado, sin embargo, por la impenetrabilidad de la materia que provoca el desplazamiento de los cuerpos al impedir que compartan el mismo lugar.

Pero todo intento de derivar el movimiento de la impenetrabilidad de la materia acaba por remitir a la necesidad de explicar el movimiento que se postula en dicha explicación. Y ello nos remite a un bucle indefinido que, así como Aristóteles resolvió mediante el recurso al primer motor inmóvil, a Descartes, por ejemplo, le llevó a afirmar la realidad del movimiento como cantidad constante substancial. Así pues,

El movimiento era considerado como cantidad substancial que se conserva a través del tiempo, mientras que cambia su distribución espacial. Esto es especialmente cierto tanto de las leyes fundamentales de la mecánica como del principio de la conservación de la cantidad de movimiento y el principio de la conservación de energía. Aunque ambos principios fueron anticipados cualitativamente por los atomistas primitivos, su formulación exacta pertenece a las más grandes realizaciones del siglo XVII, cuando se construyeron los cimientos de la mecánica. Ernst Mach demostró cómo la idea de la imposibilidad de *perpetuum mobile*, o sea, de increabilidad e indestructibilidad de movimiento, inunda toda la historia de la mecánica;<sup>186</sup>

Espacio, tiempo, materia y movimiento son los conceptos fundamentales de la física moderna, todos ellos íntimamente relacionados entre sí y todos necesarios para establecer la definición de los demás. Si la observación del movimiento llevó a los atomistas griegos a postular la existencia del vacío como condición necesaria para no caer en las aporías a las que conducía el parmenídeo *plenum* de ser –la negación del movimiento– precisamente el atomismo vinculado al vacío constituiría uno de los pilares conceptuales de la ciencia moderna. Era el vacío entendido como espacio no ocupado por la materia, lo que permitía que se produjera el movimiento.<sup>187</sup>

El hecho de hablar en plural acerca de la materia, o sea, acerca de sus *elementos* constitutivos, en vez de hacerlo en singular, está justificado por la admisión del espacio vacío: sólo el vacío puede romper la continuidad de la materia en los cuerpos individuales. Su impenetrabilidad e indivisibilidad se deducen necesariamente de la definición básica: materia=espacio lleno. La plenitud no admite grados; lo que ya está

---

<sup>186</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 91.

<sup>187</sup> En este sentido, Bergson hará notar que cuando intentamos imaginar un cuerpo penetrando en otro no podemos evitar suponer que hay espacios vacíos entre las partículas de ambos cuerpos, partículas que, a su vez, tampoco pueden penetrar unas en otras sin imaginar esta operación de nuevo y así de forma indefinida concluyendo que la afirmación de que dos cuerpos no pueden ocupar el mismo lugar es una necesidad lógica más que física.

*lleno* no puede estar *más lleno*, o sea, no puede estar simultáneamente lleno de alguna otra cosa: los cuerpos materiales son, por tanto, impenetrables.<sup>188</sup>

Así, la división de la materia sólo puede ser mecánicamente posible hasta un límite, los átomos, que son los elementos últimos que constituyen la materia y lo único verdaderamente compacto e impenetrable. Y Leibniz rebatirá esta idea afirmando que la materia debe compartir con el espacio su infinita divisibilidad. Sin embargo en este punto es interesante señalar que la infinita divisibilidad del espacio es lógicamente compatible, tanto con la noción de una materia discontinua constituida por átomos, como con la noción de una materia continua –o infinitamente divisible.

La afirmación de Leibniz, Kant, Fechner, etc., acerca de que la materia debe compartir con el espacio su divisibilidad infinita se ha desechado distinguiendo la divisibilidad *geométrica* de la divisibilidad *mecánica*; aquélla es ilimitada, pero pertenece únicamente al vacío, o sea, al recipiente geométrico de la materia, no a la materia en sí; la propia lentitud de los elementos constitutivos de la materia impone cierto límite a su división física.<sup>189</sup>

Otra propiedad que se desprende de la impenetrabilidad de la materia es la permanencia. Se consideraba que las partículas elementales de la materia eran constantes en su forma, masa y volumen y este principio –hoy conocido como principio de la conservación de la materia- implica que hay una cantidad total finita de materia en el universo y que ésta es constante dada tanto su indestructibilidad como su increabilidad. Rigidez de los átomos que encaja a la perfección con el principio de inacción causal del espacio y del tiempo para con la materia.

Así, pues, si la causa de cualquier cambio físico se encuentra en los propios cuerpos y nunca se produce como efecto de alguna propiedad del espacio o del tiempo, también encontramos dificultades para admitir cualquier cambio en las propias partículas elementales, a excepción de su movimiento de traslación.

Hemos visto que la doctrina de que el espacio y el tiempo son homogéneos significa que para todo cambio físico, o sea, todo cambio observable en los cuerpos físicos, ya sean simples o compuestos, se debe buscar una causa en los cuerpos físicos y en sus acciones físicas; no debemos considerar nunca ningún cambio como efecto de particulares regiones de espacio, como creía Aristóteles, o de un particular momento de tiempo, como jamás creyó nadie probablemente. Pero entonces es patentemente absurdo creer que una última unidad material cambiaría sus propiedades moviéndose

---

<sup>188</sup> CAPEK, M. *Ibid.*

<sup>189</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit. p. 74.*



simplemente en el espacio. Sería igualmente absurdo suponer que la unidad elemental cambiará sus características (masa, volumen, forma) simplemente *persistiendo a través del tiempo*, hallándose a la vez en estado de reposo; entonces parecería que el tiempo es la única entidad a la que se podría atribuir el cambio, y ya sabemos que esto conduciría a la conclusión de que sus momentos son heterogéneos.<sup>190</sup>

Por lo tanto, el atribuir un carácter discontinuo a la materia, constituida por átomos como partículas elementales permitiría explicar la diversidad de los fenómenos naturales que se observan en el universo en virtud del movimiento de traslación de las mismas.<sup>191</sup>

Como ya hemos señalado, el espacio absoluto newtoniano, gracias a su inmovilidad e inmutabilidad, constituía el marco de referencia perfecto y necesario en el que inscribir cualquier movimiento de traslación. En este aspecto, cualquier cuerpo en movimiento con respecto a este marco de referencia estaría en movimiento absoluto y, del mismo modo con respecto al espacio absoluto, el reposo de un cuerpo estaría en reposo absoluto. Movimiento y reposo absolutos son, por lo tanto, relativos con respecto a su marco de referencia, que es el espacio absoluto.

El movimiento es infinitamente divisible y, por tanto, continuo, del mismo modo que lo son el espacio y el tiempo absolutos, pues el movimiento consiste en la variación en el espacio durante un intervalo de tiempo. Pero, -señala Capek- si el movimiento implica al espacio y al tiempo, no ocurre lo mismo a la inversa debido a la mencionada independencia del espacio y del tiempo con respecto a su contenido físico; el movimiento se produce en el espacio y en el tiempo pero no interactúa con ellos. “La propia posibilidad de un cuerpo que se halla en reposo durante un cierto intervalo de tiempo muestra simplemente la separabilidad lógica y física de tiempo y movimiento”.<sup>192</sup> Por lo tanto, mientras que el espacio y el tiempo son los continentes del movimiento, su vehículo es el cuerpo material y, por lo tanto, el concepto de movimiento en la física clásica, a pesar de incluir la noción de continuidad, implica necesariamente el concepto de materia discontinua -aunque, también aquí, esta

---

<sup>190</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico en la física contemporánea. op. cit.* pp. 77-78.

<sup>191</sup> El atomismo considera que los átomos se encuentran en continuo movimiento de traslación y explica la novedad en la naturaleza mediante el recurso al *clinamen*, término latino acuñado por Lucrecio para traducir el griego *parénklesis* con el que Epicuro se refería a la desviación espontánea de la trayectoria rectilínea que experimentaban los átomos, rompiendo así la cadena causal determinista de su movimiento, lo que permitía introducir un fundamento físico para justificar el libre albedrío e, incluso, el mismo azar.

<sup>192</sup> CAPEK, M. *op.cit.* p. 84.

relación de necesidad no ocurre a la inversa: el concepto de materia discontinua no requiere como presupuesto el concepto de movimiento.

En cuanto al estatuto ontológico del movimiento, el reconocimiento de esta independencia conceptual del movimiento con respecto a los conceptos de espacio, tiempo y materia permitió que aquél adquiriera un carácter cercano a la substancialidad. Además, el hecho de que el concepto de movimiento no se pudiera derivar de aquellos otros conceptos permitía sostener que sólo el movimiento puede ser causa de movimiento y, del mismo modo, sólo el movimiento puede ser efecto del movimiento. De aquí se infería que, igual que la cantidad de materia, la cantidad de movimiento existente en el universo debería ser constante y la única variación que se operaba en una y otro era relativa a su distribución espacial en el tiempo. Con ello el movimiento se convertía en el gran tercer principio para la física clásica en virtud de la concepción atomista de la materia, consolidando, de este modo, el paradigma newtoniano caracterizado por una idea cinético-corpúscular de la naturaleza, propia del mecanicismo, en clara contraposición a la concepción aristotélica: “Toda la filosofía de Aristóteles se basa en la negación de la constancia de movimiento: todo lo que se mueve se mueve porque y mientras lo mueve algún “movedor””.<sup>193</sup> En este sentido Capek sostiene que la explicación aristotélica del movimiento se encuentra en inferioridad con respecto a la de los atomistas griegos,

detrás de la oposición de Aristóteles a la teoría atomística del movimiento había algo más que una falta de intuición y sus prejuicios teleológicos. Detrás de su resistencia a admitir la substancialidad del movimiento se hallaba un prejuicio metafísico hondamente arraigado que es común a todos los períodos del pensamiento occidental y del que incluso los atomistas no se hallaban enteramente libres. Era el prejuicio de que el cambio no puede ser algo lógico u ontológicamente autosuficiente y que, por tanto, necesita una *explicación*.<sup>194</sup>

El pensamiento filosófico y científico del siglo XVII, desprendido de la influencia aristotélica, proporcionaría las condiciones necesarias para que pudieran ser formulados los principios de conservación de la materia, del movimiento y de la energía.

La síntesis mecanicista-atomista que caracteriza la ciencia moderna afirma la discontinuidad en la materia, que considera estructurada en partículas elementales;

<sup>193</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 88.

<sup>194</sup> CAPEK, M. *ibid.*

las variaciones de configuración de esta estructura -debidas al desplazamiento local de los átomos- explican el cambio y la diversidad que se observa en la naturaleza. La única interacción que se produce es de carácter mecánico y se debe al impacto entre los átomos o corpúsculos. Se trata, pues, de una concepción cinético-corpúscular de la naturaleza según la cual todo cambio cualitativo y toda diversidad cualitativa se remiten, en última instancia, a un origen de tipo cuantitativo, aunque, como nos recuerdan Petit y Prevosti, la relación entre materia, movimiento y diversidad en la naturaleza no es explicada exactamente del mismo modo por el atomismo y el mecanicismo:

También el atomismo es, en cierto modo, un mecanicismo en el sentido de que sólo acepta el movimiento local y no hay en esta filosofía ninguna alteración en la substancia corpórea, esto es, en este caso, en el átomo. [...] Sin embargo, el atomismo incluye una diversidad intrínseca en la realidad de la substancia corpórea, al poner una cantidad innumerable de formas las cuales son, en su ser, independientes del movimiento. En el cartesianismo, en cambio, la diversidad de figuras depende sólo del movimiento local, pues, careciendo de cualidades distintas y sin la diferenciación que permite el vacío, las diversas formas sólo pueden resultar de los diversos movimientos locales.<sup>195</sup>

De estos principios se desprende, entre otras cosas, que la diversidad en la naturaleza no es más que aparente. Esta reducción de lo cualitativo a lo cuantitativo es también consecuencia directa de los presupuestos de homogeneidad y constancia de la materia, que son corolarios del atomismo. Ya en el siglo XIX, con la teoría del electrón se estuvo cerca de alcanzar la vieja aspiración de la física moderna de explicar toda la diversidad de la naturaleza mediante su reducción a una pura diferencia en el grado de complejidad de la estructura de la materia, consistente en la agregación de corpúsculos básicos homogéneos. Este corpúsculo básico -el hidrógeno- era un compuesto de dos partículas elementales -el electrón y el protón central alrededor del cual giraba el primero- y la totalidad de los elementos de la tabla periódica podía obtenerse simplemente incrementando de forma gradual el número de electrones en órbita y el número de protones. Así, a partir de la combinación de estos elementos, se podía explicar la totalidad de la variedad hallada en la naturaleza, tanto inorgánica como orgánica. Sin embargo, aspectos como la polaridad irreductible de las cargas eléctricas o la dualidad de la materia y la electricidad escapaban a una explicación mecanicista que, no obstante,

---

<sup>195</sup> PETIT SULLÁ, J.M.; PREVOSTI MONCLÚS, A. *Filosofía de la Naturaleza. Su configuración a través de sus textos*. Barcelona: Scire Universitaria 2004, p. 180.

continuaba convencida de que lograría explicar los últimos vestigios de la diversidad cualitativa.

La suposición de que toda acción entre cuerpos se debe al impacto entre ellos, es decir, a la presión mecánica directa de sus superficies en contacto, eliminaba toda posibilidad de que se diera en la naturaleza algún fenómeno de otro tipo, bien sea entre cuerpos macroscópicos o en la escala de las partículas más elementales, o ya se trate de un contacto más o menos duradero, y esto hacía inaceptable, por ejemplo, la idea de acción a distancia en la naturaleza.<sup>196</sup> todos los fenómenos físicos se explican en términos de partículas que se mueven de unos cuerpos a otros.

Pero fenómenos como la gravitación –que tenía todo el aspecto de una acción a distancia- presentaban serias dificultades a la hora de encontrar una explicación en estos términos mecanicistas. El mismo Leibniz, rechazando la idea de una fuerza atrayente actuando a distancia como una cualidad oculta de la materia, se decantó por una explicación cinética de la gravitación.

Newton, sin embargo, evita explicar la fuerza de atracción de la gravedad que postula, limitándose a describirla –de ahí su célebre expresión respecto a su interpretación del fenómeno, *hypothesis non fingo*. Y la interpreta como el mero efecto en los cuerpos de la acción de una fuerza. Así, como afirma la primera ley de la mecánica clásica, la inercia de los cuerpos consiste en su tendencia natural a permanecer en su estado de reposo o movimiento. Cualquier cambio operado en él será debido a la aplicación de una fuerza exterior. Y esta resistencia al cambio, a la fuerza exterior, es proporcional a la masa de cuerpo, que es la cantidad de materia. Con ello Newton elimina de la materia el dinamismo que Aristóteles vio en ella y la convierte en una sustancia pasiva sobre la que actúan fuerzas a distancia.

En cualquier caso, si bien es cierto que podemos afirmar que con la física clásica se establece un dualismo definido por dos términos confrontados: la materia y la fuerza, “esta combinación híbrida de atomismo y acción a distancia era probablemente la idea más universalmente aceptada en el pasado siglo. Ciertamente inundaba los libros de texto de la física y las mentes de los científicos menos sofisticados”.<sup>197</sup>

---

<sup>196</sup> Las teorías del éter consideraban que el movimiento vibratorio de las partículas se comunicaba mediante las partículas contiguas del medio intermedio y, por ejemplo, en el caso de las partículas de la luz, la última partícula vibratoria impactaba en el ojo dando lugar al fenómeno de la visión.

<sup>197</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 107.

En este contexto, el dinamismo, para el que la verdadera esencia de la materia consistía en “fuerzas que emanaban de centros como puntos y actuaban instantáneamente a través de la distancia”<sup>198</sup> encontró su más alto representante en el científico y filósofo jesuita Ruggero Giuseppe Boscovich (1711-1787) que sostendría que los elementos últimos de la naturaleza son átomos inmateriales a modo de puntos inextensos que constituyen centros de fuerza de atracción y repulsión y cuyo movimiento e interacción sería el origen del aparente mundo fenoménico. Para Boscovich,

el movimiento nace de la fuerza, o sea, de algo que no es movimiento, y cuando desaparece se transforma en algo que no es movimiento. La ley de la conservación de energía se conserva formalmente, pero es evidente que cuando se abandona su interpretación cinética, casi volvemos a Aristóteles y a su idea de transformación cualitativa. Mientras que la homogeneidad de causa y efecto se conservaba en el esquema mecanicista, era claramente sacrificada por el dinamismo.<sup>199</sup>

El dinamismo se adjudicaba -frente al atomismo- una mayor sintonía con el principio de continuidad al no tener la necesidad de atribuir a las partículas materiales un radio finito, con lo que éstas perdían su rigidez. Al considerar la fuerza como la entidad física primaria y eliminar la distinción entre la partícula y el campo de fuerza que la rodea, el dinamismo era también capaz de explicar aspectos de la materia como la impenetrabilidad –entendida como el efecto de la fuerza repulsiva- y la gravedad –como consecuencia de que la misma fuerza invierte su signo a una cierta distancia-. Sin embargo, el concepto de *acción a distancia* conlleva ciertas dificultades: el concepto de acción –cuyo sentido es de carácter dinámico y sucesivo pues se desarrolla de forma gradual en el espacio y en el tiempo, avanzando a una velocidad finita- es incompatible con la noción de instantaneidad, que implica velocidad infinita ya que, en su instantaneidad, la acción a distancia estaría presente simultáneamente en todos los puntos de su trayecto. Se trata del problemático concepto de velocidad instantánea que se iría revelando intrínsecamente contradictorio a medida que se fueran conociendo las velocidades finitas de fenómenos como el sonido, la luz o las ondas electromagnéticas. Así mismo, y por el mismo motivo, el concepto de acción a distancia es incompatible con los conceptos de espacio y de tiempo.

---

<sup>198</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. ibid.*

<sup>199</sup> CAPEK, M. *op. cit.* p. 110.

La evidencia de que la energía electromagnética se movía con una velocidad finita, exigía una explicación sobre la naturaleza de la energía que se producía durante el tiempo que transcurría a lo largo de su trayecto. Si el mecanicismo respondía a esta cuestión afirmando que dicha energía persiste como energía cinética de las partículas del éter, el dinamismo se veía obligado a postular una forma de energía que, a diferencia de la cinética, fuera irreductible al movimiento. Se añadía de este modo a la dualidad *materia-fuerza*, una nueva dualidad, la de *energía cinética-energía potencial*, ambas cualitativamente diferentes. Con ello –y en sintonía con la esencia de la concepción dinamista basada en el principio de que el movimiento siempre es un efecto y nunca una causa- el movimiento nacería de la fuerza –es decir, de algo que no es movimiento- y, al desaparecer, se transformaría en algo que tampoco es movimiento eliminándose, de este modo, la homogeneidad de causa y efecto defendida por el mecanicismo.

Boscovich propuso, frente a la noción corpuscular del átomo mecanicista, el concepto de punto de fuerza, carente de dimensión y, por lo tanto, un concepto de punto más geométrico que físico. Un punto sin dimensión al que, sin embargo, se le atribuía movimiento. Todas estas propiedades en un mismo objeto presentaban grandes contradicciones. Además, estos puntos, que eran centros dinámicos debían tener una concentración infinita de fuerza en su centro. Pero, el descubrimiento del radio finito del electrón acabó con las expectativas del dinamismo en este sentido y, también con la primacía ontológica que el mecanicismo otorgaba a la materia sobre la energía al postularse ahora el electrón como la partícula más elemental constitutiva de la materia.

Además del dinamismo, otra corriente se enfrentaba conceptualmente al mecanicismo: el denominado energeticismo –representado, entre otros, por Herbert Spencer (1820-1903)- pero sólo el advenimiento de la teoría de la relatividad y la teoría cuántica conseguiría que el mecanicismo fuera retirado de su trono conceptual ya que, tanto las corrientes energeticistas como las dinamistas conservaban algunos de los principios fundamentales de la concepción cinético-corpuscular mecanicista, como por ejemplo, la reducción de todo cambio a un proceso de redistribución de materia y movimiento -dando así por sentado el presupuesto de la constancia de una y la indestructibilidad de otro-; o el hecho de aceptar tácitamente el concepto de *substancia material* al afirmar que todo movimiento presupone una cosa que se mueve –por ejemplo, cuando se define la energía cinética considerando la masa como substrato material del movimiento. La

distinción fundamental entre el dinamismo y el energeticismo radicaba en que, mientras que para unos era la fuerza, para otros era la energía la entidad substancial fundamental constitutiva de la naturaleza. Frente al mecanicismo, el energeticismo considera que la materia no es más que una mera manifestación de la energía. En cualquier caso el energeticismo preparará el camino para la posterior fusión entre la materia y la energía que traerá teoría de la relatividad general. En este sentido concluyen Petit y Prevosti que entre ambas posturas –energeticismo y dinamismo- constituyen una crítica directa al concepto de materia como “concepto clave”:

Pero así como en Leibniz el concepto de fuerza o entelejeia debía sustituir al de materia por su connotación activa frente a la pasividad de la materia cartesiana, en el energeticismo se trata de sustituir la materia por la energía en base a su mayor capacidad explicativa. No todo es materia, pero sí todo es alguna forma de energía. Ya no hay que recurrir a la noción híbrida del “éter”, esta especie de materia desmaterializada y convertida en mero soporte de fenómenos físicos, porque cualquiera de los fenómenos eléctricos o magnéticos, etc., puede ser descrito en términos energéticos.<sup>200</sup>

Como decíamos, la teoría del electrón suscitó la cuestión de si la materia se reducía a energía o bien era al contrario, dado que el electrón, siendo considerado la última partícula constitutiva de la materia, parecía tener las mismas propiedades que el átomo clásico: ocupación de espacio, radio finito distinto de cero, inercia e indivisibilidad.<sup>201</sup> En cuanto a su movimiento, el electrón combinaba la idea atomística de partícula material rígida con la idea dinamista de fuerza. Pero toda noción de una distinción básica y fundamental entre materia y fuerza –masa y electricidad- era inconsistente con el mecanicismo y esta dualidad pretendía ser eliminada desde el punto de vista del mecanicismo mediante una interpretación que considerase ambas entidades como manifestaciones de un único medio mecánico que todo lo penetra: el éter, que habría de explicar, por fin, todos los fenómenos físicos:

Para un mecanicista consistente solamente había una posible salida; eliminar la denominada dualidad de materia y electricidad y considerar a éstas como manifestaciones particulares de un solo e idéntico medio mecánico que penetra en todo: el éter. En otras palabras, el éter había de explicar no sólo todos los ejemplos de

---

<sup>200</sup> PETIT SULLÁ, J.M.; PREVOSTI MONCLÚS, A. *Filosofía de la Naturaleza. op. cit.* p. 204.

<sup>201</sup> De hecho, el primer nombre que se dio al electrón fue el de *corpúsculo*, por parte de J. J. Thomson, uno de sus descubridores.

acción recíproca dinámica entre los propios cuerpos, *sino también la individualidad de las partículas físicas básicas.*<sup>202</sup>

Una línea de interpretación de la naturaleza abiertamente opuesta al atomismo venía representada por la teoría de la *fluidez de la materia*, con Descartes y Hobbes a la cabeza rechazando la solidez y postulando la existencia de un medio sutil, homogéneo y semejante a un fluido, del que la materia es una particular modificación estructural o cinética –los *vórtices* cartesianos- eliminando con ello la distinción básica entre lo lleno y lo vacío, que era fundamental para el atomismo. Pero Descartes que, como Aristóteles, negaba el vacío, sin embargo utilizaba un lenguaje propio de la concepción corpuscular de la materia. Y es que el *plenum* presenta serias dificultades a la hora de explicar la posibilidad del movimiento como ya pusieron de manifiesto los eléatas Parménides y Zenón, por un lado y los atomistas Leucipo y Demócrito, por otro.

A finales del siglo XIX, sin embargo, Bertrand Russell defendía la posibilidad de hacer compatible el movimiento con el *plenum* gracias, precisamente, a la noción de fluidez:

Pero en un aspecto de menor importancia, a saber, la posibilidad del movimiento en un pleno, Leibniz tiene indiscutiblemente razón. Locke había sostenido la necesidad del espacio vacío, pues de lo contrario no habría lugar para el movimiento. Leibniz replica, con razón [...] que si la materia es fluida, esta dificultad queda superada. Debería ser obvio, hasta para el profano en matemática, que el movimiento en circuito cerrado es posible para un fluido. Es una pena que los filósofos hayan incurrido en la repetición de este argumento, para cuya refutación habría bastado con una semana de estudio de la hidrodinámica. La respuesta completa está contenida en lo que se llama la ecuación de continuidad.<sup>203</sup>

Aunque ya Aristóteles había propuesto una solución para compatibilizar la ausencia de vacío y el movimiento señalando que dentro de un fluido es posible un movimiento circular a la manera de un remolino, afirmación que más tarde repetiría Descartes, cuya identificación entre espacio y materia –*res extensa*- daría lugar a la confusión entre el concepto de divisibilidad geométrica del espacio y la separabilidad física de las partículas.

---

<sup>202</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 121.

<sup>203</sup> RUSSELL, B. *Exposición Crítica de la filosofía de Leibniz.* Buenos Aires: Ediciones Siglo Veinte, 1977, p. 116.



Capek rebate, sin embargo, esta idea señalando que el concepto del perfecto fluido no se corresponde con la realidad de la materia ya que la continuidad que se observa en los fluidos sólo se da en el nivel macroscópico mientras que en el nivel microscópico el movimiento de las partículas que lo componen se produce gracias a los intervalos vacíos que los separan.

Además -añade-, en contra de lo sostenido por Bertrand Russell, precisamente Leibniz había hecho notar que el movimiento de un fluido en rotación perfectamente homogéneo no permite distinguir estados sucesivos en él al no producir ningún cambio observable, rechazando así la teoría del movimiento de los vórtices elaborada por Descartes por su incapacidad de explicar la diversidad observable en el mundo físico ya que no se produce un verdadero cambio. En fin, la teoría de los fluidos presenta la misma problemática que ya plantearan Parménides y Zenón al apostar por un *plenum* que hace altamente difícil explicar consistentemente con él tanto la diversidad como el cambio.

## 2.5 El mecanicismo y el concepto de tiempo

Las características que hemos referido de la física clásica tienen como consecuencia inmediata un determinismo riguroso y radical que encontró su máxima expresión en la sentencia laplaciana que aseguraba que el conocimiento de todos los parámetros y fuerzas que actúan en el universo permitiría conocer perfectamente tanto el pasado como el futuro del universo. En esta afirmación subyace la idea de que la historia del universo físico se puede representar como una serie continua de estados instantáneos, siendo cada uno de ellos una configuración instantánea de la totalidad de las entidades corpusculares simultáneas, con posiciones y velocidades concretas y definibles, y donde cada configuración está implicada en la anterior y, a la vez, implica a la siguiente. Las leyes de la mecánica newtoniana, que son las leyes del movimiento, son deterministas y describen un mundo absolutamente determinado por ellas, marcando una simetría temporal en cualquiera de los fenómenos del universo puesto que todos los procesos se describen de forma equivalente –tanto en la predicción como en la retrodicción-: la trayectoria del movimiento es idéntica en ambos sentidos y se efectúa una extrapolación de este carácter reversible a todo proceso natural.

Las ecuaciones del movimiento proporcionan una trayectoria única, en virtud del principio de causa y efecto, que permiten la reconstrucción exacta de toda la historia causal de cualquier acontecimiento o estado de cosas. Puesto que sólo hay un estado de cosas posible en cada momento, es una concatenación de sucesos unívoca y, dado que a una causa le corresponde un efecto, sólo uno y el mismo, toda la realidad es absolutamente predecible. Bajo estas premisas, cualquier instante contiene por consiguiente, tanto el pasado como el futuro; todo, absolutamente todo acontecimiento es predecible.<sup>204</sup>

De hecho, ya Demócrito afirmaría en los albores del atomismo griego que “por necesidad se hallan preordenadas todas las cosas que fueron, son y serán”. Y lo que para Demócrito era *necesidad*, para la ciencia clásica lo constituían las leyes de la conservación de la dinámica moderna.

Reversibilidad, simetría y linealidad caracterizan una realidad que se ubica en un marco formado por dos parámetros –espacio y tiempo- que le son completamente ajenos. Esta concepción del mundo apoyada en el concepto clásico de causalidad física, basada en la idea cinético-corpúscular de la realidad, presupone los principios clásicos ya enunciados de continuidad espaciotemporal, simultaneidad absoluta de cuerpos y sucesos, y determinación de sus posiciones y velocidades concretas. Y bajo este paradigma se inscriben tanto la mecánica clásica como las teorías dinamicistas y energeticistas de la materia o las teorías electromagnéticas. Puede tratarse de electrones, átomos, partículas de éter o puntos de fuerza pero todos ellos se diferencian de las posiciones que *ocupan* en el espacio. Todos estos objetos son contenido en un continente espacial independiente.

Para el atomismo la realidad se componía de partículas idénticas entre sí que se movían en el espacio vacío, que permanecían así eternamente y cuya única variación era relativa a la distancia entre unas y otras debido a su movimiento. De esta concepción se deriva una cierta superioridad ontológica del espacio con respecto al tiempo entendido como sucesión.

Por otra parte, la relación causal clásica, cuyo determinismo estricto según el cual las causas implican sus efectos tanto como los efectos llevan implícitas sus causas, constituye una relación lógica de carácter incluso tautológico. Y esto, a su vez, reduce el tiempo a su mínima expresión puesto que el futuro en esta serie causal que es la historia del universo es completamente predecible y el pasado se puede

---

<sup>204</sup> ORTIZ GALILEA, J. *El paradigma de la complejidad. op. cit.* p. 410.

reconstruir también completamente a partir del conocimiento absoluto de todos los detalles del presente.

Por lo tanto este determinismo tiene, debido a su carácter lógicamente simétrico, un marcado carácter intemporal: es decir, puesto que la dirección del tiempo apenas es relevante en el desarrollo de los fenómenos físicos dentro del marco de la mecánica clásica el concepto de tiempo pierde uno de sus rasgos más singulares: su irreversibilidad, que constituye la diferencia esencial entre el pasado y el futuro; el tiempo de la física clásica es un tiempo reversible, sin dirección privilegiada.

Y esta eliminación de la asimetría temporal también se verá apoyada por la concepción cinético-corpúscular de la materia: si las diferencias entre los distintos estados del universo únicamente corresponden a diferencias de configuración espacial de las partículas, eternas e inmutables, que componen la materia, la irreversibilidad sólo sería una muy remota probabilidad de que se produzca la repetición de una configuración determinada; y remota posibilidad no es lo mismo que imposibilidad. Es más, en base a la noción de una materia cuantitativamente finita y constante, disponiendo de un periodo de tiempo ilimitado, se hace necesaria la actualización de esta remota posibilidad, lo que nos remitiría a la consideración de teorías del eterno retorno, como la que postulará Nietzsche en el siglo XIX:

Si es lícito que el mundo sea pensado como una determinada cantidad de fuerza y como un determinado número de centros de fuerza –y toda representación sigue siendo indeterminada y, en consecuencia, inutilizable- de ello se deriva que ha de recorrer un número calculable de combinaciones, en el gran juego de dados de su existencia. En un tiempo infinito toda posible combinación se habría alcanzado una vez, en algún momento; más aún, se habría alcanzado infinitas veces. Y puesto que entre cada combinación y su próximo “retorno” han de haber pasado todas las combinaciones incluso posibles en absoluto, y cada una de estas combinaciones determina la sucesión entera de combinaciones en la misma serie, con ello estaría demostrado un ciclo de series absolutamente idénticas: el mundo como ciclo que ya se ha repetido infinitamente muchas veces y que juega su juego *in infinitum*.<sup>205</sup>

No fue Nietzsche el único defensor de esta idea. Henry Poincaré en su consideración del universo como agregado de un número finito de partículas inmutables en movimiento atribuía un carácter cíclico al tiempo y a la historia del

---

<sup>205</sup> NIETZSCHE, F. *Fragmento Póstumo 1888*, 14 [188]. Citado por José Ignacio Galparsoro en *Sobre el supuesto carácter circular del tiempo en el eterno retorno*. Murcia: Daímon. Revista Internacional de Filosofía, nº 57, 2012, p. 86.

universo. Pero la segunda ley de la termodinámica, -conocida también como *ley de la entropía*- según la cual el universo en su conjunto, como totalidad, se mueve en una única dirección y en un único sentido hacia una, cada vez mayor, homogeneidad, uniformidad y desorden -lo que se ha dado en llamar su *muerte térmica*-, vendría a rebatir seriamente y desde el propio ámbito de la física tanto la reversibilidad como el carácter cíclico del tiempo cósmico, si bien la interpretación estadística de esta ley salvaba de algún modo la periodicidad del tiempo ya que, al tratarse de una ley probabilística, no se puede excluir ni siquiera la repetición más improbable y, por lo tanto, en este escenario un decrecimiento de la entropía no sería imposible. En este sentido, el estudio del movimiento browniano demostró que a nivel molecular los procesos mecánicos elementales sí son reversibles. Y es que la ley de la entropía sólo se predica a escala macroscópica y en relación a procesos que involucran a un elevado número de elementos.<sup>206</sup>

En lo que se refiere a las teorías que afirman la existencia de un tiempo cíclico, bajo ellas subyace el presupuesto de la concepción relacional del tiempo según la cual, como ya vimos, los momentos de tiempo únicamente se diferencian entre sí por las diferencias observables en los distintos estados del universo. Así, si hay dos estados del universo que son idénticos en todos los aspectos, entonces realmente son el mismo -ni siquiera pueden ser sucesivos- y por eso se habla de *retorno*. Lo cual no sucede bajo la premisa de un tiempo absoluto ya que dos momentos sucesivos de tiempo son sucesivos incluso si son completamente idénticos y, por lo tanto, son dos momentos distintos en virtud de su separación del contenido físico.

Pero en un tiempo cíclico de esta clase no hay distinción entre pasado, presente y futuro y tampoco novedad, exceptuando el primero de los ciclos -en el caso de que hubiera un principio- que, evidentemente, sí sería novedoso.

Por el contrario, la concepción absolutista del tiempo sí permite hablar de una dirección en el tiempo independientemente de la dirección que tomen los procesos físicos, que sí pueden ser revertidos -además de repetirse- según permiten las leyes de la mecánica clásica. En definitiva:

Mientras que el universo sea considerado como agregado de los elementos inmutables, que simplemente cambian sus posiciones en el espacio, no puede poseer historia real;

---

<sup>206</sup> La temperatura, por ejemplo, es una noción macroscópica que implica a un alto número de moléculas pero nunca se podría predicar de una molécula individualmente.

así lo que llamamos dirección del tiempo es un fenómeno local que pierde su significado a escala cósmica. Cuando en el siglo XX, Russell, Reichebach y otros expresaron sus dudas acerca de la existencia del tiempo cósmico, simplemente siguieron el camino abierto por la teoría relacional clásica del tiempo. De considerar el tiempo como accidente de accidentes a negarlo por completo, sólo hay un pequeño paso.<sup>207</sup>

En definitiva, las nociones de *pasado*, *presente* y *futuro* nacen del entorno del tiempo humano, vivencial e histórico, y adquieren un significado distinto en función de cómo se interpreta dicha historia. “Un futuro libre o intencional, determinado o indeterminado, repetitivo o lleno de novedades, etc. no es futuro en el mismo sentido. La definición de tiempo cambia según las diversas modalidades del devenir y del actuar.”<sup>208</sup>

Espacio, tiempo, materia y movimiento eran, pues, en el paradigma newtoniano, las entidades fundamentales a partir de las cuales se derivaban todas las demás y sobre las que descansaba cualquier explicación científica de todo fenómeno físico. Si el intento cartesiano de reducir la materia y el movimiento a una única entidad espacial fracasó ante la noción de espacio absoluto, también lo hizo el tiempo relacional frente a la noción de tiempo absoluto. Un tiempo que, a pesar de este carácter absoluto, sin embargo ostenta un rango ontológicamente inferior al que se concede al espacio. Un tiempo que hereda del espacio sus propiedades esenciales.

Se creía que el tiempo compartía su homogeneidad, infinidad y continuidad matemática con el espacio. La única faceta diferenciadora era un número diferente de dimensiones y la diferencia entre la relación de yuxtaposición y la de sucesión; pero como la relación de antes y después era también simbolizada por la yuxtaposición espacial, la propia esencia de temporalidad era inconscientemente, y a veces contra las negativas explícitas de filósofos y científicos, convertida en una entidad intemporal y espacial, en “la cuarta dimensión del espacio” en el sentido de D’Alembert y Lagrange.<sup>209</sup>

La espacialización a que el paradigma newtoniano somete el tiempo está estrechamente relacionada con la substancialización del movimiento o, en otras palabras, la primacía del ser sobre el devenir. Y esto pone de relieve el vínculo existente entre la concepción eleática del ser y el modelo cinético-corpúscular de la

---

<sup>207</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 145.

<sup>208</sup> CASTAGNINO, M.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo. Una visión filosófica y científica.*, Buenos Aires: Catálogos, 2006, p. 53.

<sup>209</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 147.

materia: Parménides proponía la substancialización del cambio transformando el cambio en *ser-* y Zenón, a continuación, geometriza el tiempo y negaba al movimiento o cambio toda posibilidad de consistencia racional. El atomismo, por su parte, en todas sus versiones, recogerá la creencia de los eléatas en la *constancia del ser* –que, en última instancia, para el atomismo no cambia ni cualitativa ni cuantitativamente puesto que el cambio no afecta a sus últimos elementos constitutivos-. Con la ciencia moderna el propio concepto de movimiento se fue substancializando como consecuencia lógica de las leyes de conservación de momento y energía, a partir de las cuales quedaba explicado, y tras las que subyacía la idea de un determinismo estático en virtud, por un lado, de una substancia cualitativa y cuantitativamente invariable cuyas únicas variaciones se atribuyen a las relaciones espaciales de sus partículas y, por otro lado, de un movimiento y una energía cuya cantidad es constante y sólo varían en lo que concierne a su distribución espacial. Así, la sucesión de causas y efectos, cuya identidad se postula, modifica el ser de un modo superficial pero no substancial ya que la relación causal -cuyo carácter necesario responde a que la transformación de las causas en sus efectos se inscribe en una constancia básica del ser en base a su increabilidad e indestructibilidad- no es más que una manifestación de aquella parmenídea identidad subyacente de toda substancia material o energética.

Una vez más, esto aboca a un determinismo según el cual, como ya hemos visto, cualquier estado presente del universo -cualquier configuración instantánea de las partículas que conforman un estado- está ya contenido en todos los estados del pasado y, a su vez, contiene todos los estados futuros, es decir, toda configuración cinético-corpúscular de la realidad es lógicamente deducible de cualquier configuración previa y contiene lógicamente a cualquier futura configuración, lo que elimina del universo toda posibilidad de novedad y contingencia. La transición de un estado a otro se rige estrictamente por las leyes de la dinámica. Y si en este escenario añadimos la creencia en que el universo se compone de una cantidad finita de materia, no es lógicamente absurdo concebir, considerando un intervalo lo suficientemente largo, la posibilidad de que se produzca la repetición de una de estas configuraciones y, consecuentemente, de las configuraciones que, de forma necesaria, le sucederían en el tiempo. De este modo, el tiempo adquiere un carácter marcadamente reversible y la repetición cíclica aparece como consecuencia lógica en un universo sin término temporal, lo que elimina la esencial diferencia entre pasado y futuro. Esto es apoyado con firmeza y por el principio ya mencionado aquí de equivalencia lógica de causa y efecto según el cual todos los

estados sucesivos del universo se implican lógicamente unos a otros independientemente de su orden temporal.<sup>210</sup>

Esto llevaría también a establecer una vinculación directa entre la necesidad rigurosa y la sucesión temporal. Así, el mecanicismo científico incurre en la eliminación de lo que esencialmente hace temporal al propio tiempo, que es su condición de sucesión, de tránsito entre el futuro y el pasado; un tiempo que vendría a ser un inmenso presente, en el que no hay lugar para la novedad. Un tiempo, en definitiva, carente de temporalidad.

## 2.6 El tiempo newtoniano VS el tiempo aristotélico

Aunque podemos afirmar que Aristóteles y Newton coinciden en su consideración de la naturaleza homogénea del tiempo –es decir, que siempre transcurre al mismo ritmo–, sus concepciones difieren de forma radical en diversos aspectos.

Como vimos, para Aristóteles, sin movimiento, sin cambio, no hay tiempo, y se define éste como la medida de aquél, pero añadiendo, además, la condición necesaria de un alma que ha de ser capaz de percibirlo y numerarlo. Con ello el tiempo aristotélico presenta una doble dependencia. Es subsidiario, no sólo del movimiento y, en consecuencia, del mundo, de las cosas que se mueven, sino también del alma como agente numerante. Si bien no es ni uno ni otra, tampoco se puede decir que el tiempo sea propiamente nada subsistente. Frente a esto, el tiempo newtoniano es algo de naturaleza subsistente, *que fluye sin relación con nada externo*. Sería, junto con el espacio, como un gran contenedor del acontecer físico, que fluiría independientemente de si hay cambio o no lo hay y también independientemente de si hay sujeto o no para constatarlo. Es decir, que el tiempo newtoniano no es la medida del cambio ni de ninguna otra cosa, aunque vulgarmente utilizamos algún movimiento –el de las agujas de un reloj, el del planeta, el de las estrellas, etc.– que nos da una noción relativa del tiempo, y que usamos en vano para intentar aprehender lo que en verdad es el tiempo: el tiempo absoluto.

---

<sup>210</sup> Pero esta idea otorgaba a la relación causal la categoría de una relación lógica creando con ello una confusión entre ambos dominios –el físico-temporal y el lógico– que llevaría a interpretaciones lógicas de expresiones causales; expresiones que en el contexto de la física deben ser interpretadas en un sentido temporal -como Hume se encargaría de demostrar.

Así como la física clásica afirma la constancia del movimiento, Aristóteles, por el contrario, la niega; aunque el movimiento del cosmos aristotélico es eterno, lo es de forma contingente, porque el motor inmóvil lo impulsa eternamente. En el pensamiento griego, el movimiento requiere explicación mientras que el reposo no necesita ser explicado. Del mismo modo que le ocurre al tiempo, el movimiento o cambio aristotélico, contrariamente al movimiento de la física clásica, también carece de substancialidad, como ocurrirá –y veremos más adelante en este trabajo– en el universo relativista, cuyo movimiento no es sino una propiedad, de la materia, del cosmos, su modo de ser.

Por otra parte, el tiempo de Aristóteles –que no se identifica con el movimiento pero no puede ser sin él– es subsidiario de las cosas en virtud de la numerabilidad de su movimiento y esto lo hace también dependiente de un sujeto capaz de numerar. La condición para que percibamos los movimientos externos es que ocurra algo en nuestra alma, que ocurra un cambio y, así, el alma percibe, en su propio movimiento, el paso del tiempo. De este modo, el alma para Aristóteles es atemporal en el primer sentido porque el alma constituye el tiempo en su acto de numerar, y es temporal en el segundo sentido porque, al ser medida por el tiempo, está en el tiempo.

El tiempo de Aristóteles es en todas partes, en todas las cosas y los fenómenos que atañen a una experiencia mientras que el tiempo de Newton no es en las cosas sino que, por el contrario, son las cosas las que son en el tiempo, que es por sí y al margen de todo acontecer. Así como las cosas temporales *están en* el tiempo absoluto newtoniano porque éste es el marco en el que suceden, para Aristóteles decir que las cosas temporales *están en* el tiempo no significa esto sino que las cosas *son medidas* por el tiempo.

Aristóteles fue el primero en realizar un estudio sistemático del concepto de tiempo, desde el punto de vista de la física. Discutiendo la concepción del vacío, que –afirma– llevaría a aceptar la nada como ser, rechazará, sin embargo, la alternativa parmenídea de Zenón que lleva a la negación de la posibilidad del movimiento. Y rechazando la atribución de una existencia separada tanto del espacio como del tiempo, que resultan ser categorías relativas al movimiento y dependientes de él, consigue salvar la inteligibilidad del mundo físico.



Podemos afirmar que en Aristóteles –aunque no explícitamente- el tiempo forma parte del hecho de conocimiento. Si el movimiento no fuera numerable habría movimiento pero no habría tiempo -no el tiempo aristotélico. Sin embargo, el tiempo absoluto de Newton no pertenece a este ámbito, el ámbito del conocimiento. Es un tiempo metafísico, ontológico. Es *trascendente* porque no pertenece al dominio de la experiencia sino al metafísico: es un atributo divino, en virtud de lo cual no es accesible al conocimiento aunque su postulación es una referencia necesaria para el conocimiento científico.



## CAPÍTULO 3

### EL CONCEPTO DE TIEMPO EN KANT

Creemos que detenernos en la aportación que hizo Kant en lo que se refiere al concepto de tiempo puede sernos muy útil para poner de manifiesto algunos aspectos fundamentales del concepto de tiempo aristotélico, e intentaremos conseguirlo mediante la búsqueda de los elementos que ambos comparten enfrentados al paradigma newtoniano. Pretendemos mostrar que, a pesar de la distancia aparente -tanto en base a los diferentes planteamientos como a los distintos paradigmas en que se inscriben- las concepciones de tiempo de Aristóteles y Kant tienen mucho más en común de lo que a primera vista podría parecer.

Será el paradigma newtoniano el que haga de bisagra entre ambos planteamientos siendo, a nuestro parecer, precisamente la concepción de tiempo absoluto newtoniana la que pone de manifiesto aquello que puedan tener en común Aristóteles y Kant en sus conceptos de tiempo. Como hemos visto, con la perspectiva racionalista del pensamiento moderno se impone una visión del mundo muy distinta a la, hasta entonces, imperante: el tiempo –como el espacio- se independiza tanto del mundo como de la experiencia que de él puede tener el alma humana, llegando a adquirir la categoría ontológica propia de una sustancia, convertido en el marco estático de un mundo de cosas que se mueven en él.

Partiendo de este escenario Kant propondrá un *giro copernicano*, un cambio radical de perspectiva que pondrá el foco, ya no en el mundo como objeto sino en el propio hecho de conocer. Y es el sujeto de conocimiento hacia donde se dirige esta nueva mirada pues es en él donde se hallan los fundamentos de toda experiencia. Con Kant el tiempo pierde aquella substancialidad que había adquirido y pasa a ser un *a priori* de la experiencia, una condición de posibilidad porque –dice Kant- el tiempo está en el sujeto de la experiencia.

Salvando todas las distancias entre ambos podemos decir que en lo que se refiere al tiempo Aristóteles y Kant dicen en ocasiones cosas similares aunque de forma diferente y desde distintos contextos y perspectivas. Pero, fundamentalmente, ambas

concepciones se asemejan en un mismo sentido en su contraposición al concepto de tiempo propio del paradigma cartesiano-newtoniano.

Dada la naturaleza de esta investigación, hemos considerado adecuado recurrir directamente a la fuente. Fundamentalmente es en la *Estética trascendental* de la *Crítica de la Razón Pura*, donde Kant expresa su teoría del espacio y del tiempo, y el texto en el que hemos concentrado nuestra atención por razones obvias, apoyándonos, también, en la obra de Ernst Cassirer, Fernando Montero y Peter Frederick Strawson.

### 3.1 Contexto científico-filosófico

Kant es el filósofo que culmina la Ilustración, el movimiento que representa el triunfo de la ciencia moderna tal como la entendemos en nuestros días. Para la Ilustración el conocimiento científico supone la posibilidad que tiene el hombre de comprender los secretos del universo mediante el uso de la razón. La física de Newton y el método experimental se convierten en la máxima expresión de las aspiraciones de la razón de conocer el mundo y ambos dan como resultado una concepción determinista del universo; el mundo es susceptible de ser interpretado por leyes universales que son fijas y expresables en términos matemáticos y, por tanto, previsible en su comportamiento futuro. En este contexto, la razón "es la única que nos abre la entrada al infinito; la que nos asegura y nos enseña a ponerle medida y límite, no limitándolo en su ámbito, pero sí conociendo su ley, que todo lo abarca y penetra".<sup>211</sup>

De la filosofía natural del Renacimiento se ha pasado a la ciencia matemática. En su lugar, la ciencia de la Ilustración pretende dar razón del espectáculo que la naturaleza despliega ante nuestros ojos: el cómo y el por qué de los fenómenos en lugar de su causa final:

Newton muestra claramente que los movimientos celestes y los de los cuerpos que caen tienen la misma causa: no debemos reprocharle el que no nos haya dicho cuál sea esa causa. Newton ha cumplido de una manera insuperable la tarea que está en el

---

<sup>211</sup> CASSIRER, E. *Filosofía de la Ilustración*. op. cit. p. 55.

ámbito de la ciencia, y ha mostrado humildad y sabiduría negándose a especular acerca de materias que se encuentran fuera de aquellos límites.<sup>212</sup>

Es la búsqueda de la descripción antes que la definición, que se resume en la expresión kantiana *sapere aude*. El siglo XVIII es el siglo de los grandes logros, tanto cuantitativos como cualitativos, de todas las ramas de la ciencia.

Descartes había puesto los cimientos de las nuevas posibilidades de las matemáticas. Las *Reglas para la dirección del espíritu* habían sentado las bases del problema del análisis: unificado todo bajo la hipótesis del mecanicismo y reduciendo la posibilidad de comprensión de todos los fenómenos naturales a dos únicos principios: materia y movimiento local. Su reducción de la materia a puro atributo de la extensión, posibilitaba su expresión en términos matemáticos y reducía, con ello, los problemas geométricos a ecuaciones algebraicas.

Kant era, probablemente, el filósofo de la Ilustración que mejor conocía la ciencia de su tiempo.

La frase *dadme materia y os construiré con ella el mundo*, que en el prólogo a la *Historia general de la naturaleza y teoría del cielo* explica y comenta con diversas variantes, representa, en este sentido, no sólo el tema especial de la cosmología kantiana, sino también el problema general que se ofrece a su consideración durante este período. [...] En dos direcciones distintas, con respecto al espacio y con respecto al tiempo, indaga este pensamiento más allá de los límites de lo empíricamente dado y conocido.<sup>213</sup>

Y, si la ciencia le permite adquirir un alto nivel de capacidad descriptiva y comprensiva de la realidad material -consecuencia del método científico-, el contexto filosófico le proporciona la preocupación por el problema del conocimiento. Desde el siglo XVII la filosofía occidental centra sus reflexiones en averiguar cuáles deben ser el origen y el modo de acceder al conocimiento verdadero, y en intentar fundamentarlo racionalmente. Es el tema central de toda la filosofía moderna que arranca con las *Reglas para la dirección del espíritu* y el *Discurso del método* de Descartes. “Según esto, la diversidad de nuestras opiniones no se origina porque unos tengan más razón que otros, sino que proviene solamente del hecho de que conducimos nuestras reflexiones por distintas vías y no examinamos atentamente

---

<sup>212</sup> HULL, W. H. *Historia y filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel, 1961, p. 260.

<sup>213</sup> CASSIRER, E. *Kant, vida y doctrina*. México: Fondo de Cultura Económica, 1948, p. 61.

las mismas cosas”.<sup>214</sup> Y éste será un principio que regirá en la Ilustración y que tendrá en el pensamiento de Kant uno de sus mayores frutos.

Autores como Spinoza -con su *Tratado sobre la reforma del entendimiento*- o Leibniz -con su *Discurso sobre el arte combinatoria* y *Nuevos ensayos sobre el conocimiento humano*-, llevan el racionalismo hasta sus últimas consecuencias: Spinoza a partir del concepto de substancia de Descartes y aplicando el método matemático, y Leibniz, también con ayuda de la matemáticas -es el filósofo más analítico-, modifican la manera de acercarnos al objeto de conocimiento. También Locke -con su *Ensayo sobre el entendimiento humano*- y Hume -con el *Tratado sobre la naturaleza humana*- abren un nuevo espacio a la teoría del conocimiento: el conocimiento verdadero ya no se origina en las ideas innatas, como postulaba Descartes, sino que las percepciones elementales que proporciona la experiencia sensible son el verdadero origen del conocimiento. Kant consideraba que el pensamiento de Hume le despertó del *sueño dogmático*. “La filosofía francesa e inglesa del siglo XVIII estaba inspirada por el empeño de conformar de tal suerte la totalidad del conocimiento filosófico que, para usar una expresión característica de Locke, no necesitara sostenerse sobre fundamentos prestados o mendigados”.<sup>215</sup>

Kant superará a unos y a otros efectuando lo que él mismo denominaría un *giro copernicano* en el planteamiento del conocimiento como tal: “se desplaza el centro de gravedad del problema de la realidad, que pasa de pura realidad al terreno del juicio.”<sup>216</sup> El fundamento del conocimiento se encuentra, ahora, no en el mundo en tanto que el objeto de conocimiento sino en el sujeto que conoce. Su filosofía crítica trasladó las cuestiones que antes se debatían en el territorio de la filosofía natural al territorio de la conciencia y el entendimiento, y esto se refleja evidentemente también en su concepción del tiempo. El pensamiento de Kant supone un intento de sintetizar las posturas de Newton y Leibniz: el tiempo absoluto como entidad substancial, por una parte, y el tiempo como una entidad ideal consistente en el orden de los acontecimientos no contemporáneos, por la otra.

Kant define el tiempo como una representación, que es necesaria y que está en la base de todas las intuiciones: la forma pura de las intuiciones sensibles; una entidad ideal consistente en la forma que necesariamente tiene cualquier mundo posible en lo que se refiere a sus propiedades y relaciones temporales, cuya estructura surge

---

<sup>214</sup> DESCARTES, R. *Discurso del método*. Madrid: Alfaguara, 1981, p. 4.

<sup>215</sup> CASSIRER, E. *Filosofía de la Ilustración*. México: Fondo de Cultura Económica, 1943, p. 145.

<sup>216</sup> CASSIRER, E. *op. cit.* p. 141.

del esquema conceptual del sujeto de conocimiento y que puede representarse mediante una recta real. Es decir, Kant se percató de que nos representamos la secuencia temporal mediante “una línea que progresa hasta el infinito, una línea en la que la multiplicidad forma una serie unidimensional. De ella deducimos todas las propiedades del tiempo, excepto una, a saber, que las partes de la línea son simultáneas, mientras que las del tiempo son siempre sucesivas”.<sup>217</sup> Algo así como una construcción matemática que permite representar las relaciones y propiedades temporales y sus conexiones conceptuales, tales como la simultaneidad o la sucesión.

Espacio y tiempo –afirma Kant- constituyen la estructura del mundo fenoménico, que es el mundo percibido; experimentamos los objetos de la percepción externa como estando siempre en el espacio y en el tiempo, es decir, como estando relacionados unos con otros tanto espacial como temporalmente. Y esto ocurre porque el sujeto ya dispone de una cierta estructura conceptual que organiza los datos de la experiencia conforme a ella.

En las *Analogías de la experiencia* de la *Analítica Trascendental* de la *Crítica de la Razón Pura*, Kant afirma que la experiencia objetiva no se puede dar si no es mediante la representación de un enlace necesario de las percepciones. El entendimiento dispone de ciertas reglas que le permiten reconstruir el orden temporal en el que están dispuestos los acontecimientos, pero no percibe el propio tiempo. Y estas reglas son las *analogías* cuyos modos son tres: permanencia o duración, sucesión y simultaneidad o coexistencia. “Para todas las relaciones temporales de los fenómenos habrá, pues, tres reglas en virtud de las cuales podrá determinarse la existencia de cada uno de ellos con respecto a la unidad de todo tiempo. Estas tres reglas precederán a toda experiencia y serán las que la hagan posible.”<sup>218</sup> Las reglas enlazan estos conceptos con otros, aplicándolos al mundo físico: la permanencia a la substancia, la sucesión a la causalidad y la simultaneidad a la interacción recíproca.

En lo que respecta a la permanencia de la substancia Kant afirma que concebimos los acontecimientos como algo que cambia en los objetos; objetos que permanecen bajo los cambios, por lo que podemos concebir varios acontecimientos para un mismo objeto. Y estos acontecimientos se organizan en una única secuencia que

---

<sup>217</sup> KANT, I. *Crítica de la razón pura*. Madrid: Ediciones Alfabeta S. A., 1978, B 50. (En adelante, *CRP*).

<sup>218</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 219.

constituye la historia de ese objeto. El interés de Kant por explicar la permanencia de la substancia se inscribe en la concepción científica del paradigma de su tiempo -el de la física clásica newtoniana- según la cual la cantidad de materia total que hay en el cosmos no puede ni aumentar ni disminuir.<sup>219</sup>

En cuanto a la segunda analogía, que vincula la sucesión a la causalidad, todo lo que acontece a una substancia u objeto constituye una alteración de su estado que obedece a la ley de causa y efecto. Y del mismo modo que -como mostró Hume- este enlace causal no se percibe en sí mismo tampoco se percibe el tiempo en sí mismo:

O, en otras palabras, con la mera percepción queda sin determinar cuál sea la *relación objetiva* de los fenómenos que se suceden unos a otros. Para que ésta sea conocida de forma determinada, tenemos que pensar de tal forma la relación entre ambos estados, que quede determinado necesariamente cuál es el estado que hemos de poner antes, cuál el que hemos de poner después y que no los hemos de poner a la inversa.<sup>220</sup>

Por último, en la tercera analogía se establece que para que una multiplicidad de cosas formen un mundo y existan simultáneamente es necesario que estén en acción recíproca continua ya que, en caso contrario, los estados de cada substancia formarían series temporales independientes que no habría forma objetiva de relacionar:

Evidentemente, la unidad del universo, en el cual han de hallarse ligados todos los fenómenos, es una simple consecuencia del principio -tácitamente asumido- de la comunidad de todas las substancias que son simultáneas. En efecto, si las substancias estuvieran aisladas, no constituirían partes de un todo, y si su conexión (acción recíproca de lo diverso) no fuera necesaria ya a causa de su simultaneidad, entonces no podríamos inferir de esta última, en cuanto relación meramente ideal, una conexión de carácter real.<sup>221</sup>

Como vemos, aunque es necesario que los acontecimientos dispongan de una estructura objetiva que sea compatible con la forma usada por la mente para representarla -en nuestro caso, afirma Kant, el tiempo como una recta real- también es necesaria la existencia de la mente en este hecho de experiencia. Y esta

---

<sup>219</sup> Así también intentaría demostrar que los principios de la ciencia moderna corresponden a las características de nuestro esquema conceptual. Otro principio básico de la física newtoniana que Kant asume plenamente es el carácter continuo del movimiento y de la acción causal.

<sup>220</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 234.

<sup>221</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 265.



concepción del tiempo es en la que profundizará la escuela neokantiana representada por Paul Gerhard Natorp (1854-1924), que afirmará que en la ciencia física que se ocupa del movimiento, el tiempo representa un orden fijo, inmutable y único, en el que todos los objetos naturales deben ocupar su lugar y que todos deben atravesar. Así, afirma el neokantiano que

el orden temporal coincide exactamente –por lo que concierne a sus propiedades matemáticas- con el orden secuencial, unidimensional y recto de los *números*. En todos los aspectos, el tiempo aparece como la recta real en las ecuaciones de movimiento de la mecánica y en toda la física.<sup>222</sup>

Es decir, que la mecánica newtoniana permite representar las relaciones temporales mediante una recta real en base a la suposición de que se da un isomorfismo entre ambos dominios: el temporal y el de los números reales. Pero este isomorfismo sólo se puede afirmar si consideramos que el tiempo es abierto mientras que en la teoría del tiempo cerrado la recta real deja de ser representativa para ceder su puesto a la circunferencia –una curva topológicamente cerrada- que viene dada por el conjunto de los números reales ampliado.

En cuanto a la dependencia entre el tiempo y el movimiento, a diferencia de Aristotéles y Leibniz, Kant considera que, más que ser el cambio condición del tiempo es éste último, por el contrario, la condición de que se pueda concebir el cambio. Y no sólo eso, sino que este concepto está implícito, incluso, en el principio de no contradicción:

Sin embargo, tan lejos está el que alguien pueda alguna vez deducir y explicar el concepto del tiempo con la ayuda de la razón o desde algún otro origen, que el mismo principio de contradicción más bien presupone dicho concepto como condición suya. Porque A y no-A no *repugnan* sino pensados de lo *mismo* y *simultáneamente* (es decir, en un mismo tiempo), pero lo uno después de lo otro (en tiempos diversos) *pueden convenir* a una misma cosa. De aquí se sigue que la posibilidad de las mutaciones sólo es pensable en el tiempo; y no el tiempo es pensable por las mutaciones, sino al revés.<sup>223</sup>

---

<sup>222</sup> NATORP, P.G. *Fundamentos lógicos de las ciencias exactas*, citado en VAN FRAASSEN, B.C. *op. cit.* p. 124.

<sup>223</sup> KANT, I. *La "dissertatio" de 1770*. Madrid: C.S.I.C., Edición Bilingüe, 1961, p. 111.

## 3.2 El tiempo como forma pura

Kant al igual que Aristóteles, piensa que el tiempo está en todas las partes, en todas las cosas y fenómenos que se dan en la experiencia. Ahora bien, tales afirmaciones las hacemos por medio de los juicios, única manera que tenemos de producir conocimiento, de predicar algo sobre algo. Esta es la novedad -no sólo metodológica- de Kant: no preguntar por la verdad como *adecuatio* entre lo predicado y su objeto, sino preguntar cómo se lleva a cabo dicho proceso, es decir, cómo construimos el conocimiento, algo que debe tener un valor universal. Es el tema central de las tres Críticas pero, fundamentalmente, -y es de la que nos vamos a ocupar- de la *Crítica de la razón pura*.

Según Kant, la contradicción que supone la confusión que se da entre lo empírico y lo trascendente puede y debe ser superada: “suponiendo que nuestra representación de las cosas, tal como nos son dadas, no se rige por éstas en cuanto cosas en sí, sino que más bien esos objetos, en cuanto fenómenos, se rigen por nuestra forma de representación, desaparece la contradicción”.<sup>224</sup>

Ahora bien, este giro radical operado por Kant implica la renuncia a toda aspiración a acceder al conocimiento de las cosas en sí, de lo que pertenezca a todo aquello que trascienda a la experiencia: antes de llevar a cabo cualquier acto de conocimiento, antes de afirmar o de negar su verdad, es necesario detenerse a considerar cómo generamos dicho conocimiento, de qué manera producimos el hecho del conocimiento.

La posibilidad que el entendimiento, en lugar de perderse en elucubraciones sobre las dimensiones absolutas de los seres, debía contentarse con determinar los objetos empíricos, imponiéndoles la conciencia de sus objetividades categoriales de acuerdo con la regularidad que aportasen los fenómenos que esos mismos conceptos enlazaban y asumían.<sup>225</sup>

Tal como lo presenta en la Introducción de la *Crítica de la Razón Pura*, el conocimiento empírico se construye sobre dualidades: *fenómenos y cosas en sí* – noúmeno-, intuiciones y conceptos, *a priori* y experiencia. Experiencia que no proporciona más que lo concreto y contingente; lo *a priori* como lo universal y

---

<sup>224</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B XX.

<sup>225</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B XVII.

necesario para la experiencia pero independiente de la misma; lo *a priori* como las condiciones de posibilidad de toda experiencia posible:

Entendemos, pues, por conocimiento a priori el que es absolutamente independiente de toda experiencia. No el que es independiente de ésta o aquella experiencia. A él se opone el conocimiento empírico, el que sólo es posible a posteriori, es decir, mediante la experiencia. Entre los conocimientos a priori reciben el nombre de puros aquellos a los que no se les ha añadido nada empírico.<sup>226</sup>

Espacio y tiempo pertenecen a estos últimos: son necesarios y universales –porque todo está en el espacio y en el tiempo–, condiciones de la experiencia y, por consiguiente, anteriores a la misma ya que no proceden de ella sino que la posibilitan, “sólo por el hecho de que estos conceptos expresan a priori las relaciones de las percepciones en cada experiencia conocemos la realidad objetiva de los mismos, es decir, su verdad trascendental”.<sup>227</sup>

*Fenómeno* es lo que aparece en tanto que aparece; y no es apariencia, sino aparición. Pero lo que aparece necesita tanto el objeto que así se manifiesta –la cosa en sí misma o *noúmeno*– como el sujeto a quien se manifiesta. Lo que Kant propone, como ya señalamos, supone un *giro copernicano*: analizar las condiciones del fenómeno en su aparecer. El fenómeno es el objeto de una intuición empírica en el que se distingue, de una parte la materia –que corresponde a la sensación, los datos sensibles– y, de otra, la forma –que permite la unificación y ordenación de lo diverso–. Es la intuición empírica la que nos proporciona el objeto en cuanto fenómeno y no conocemos otra cosa que fenómenos mediante la experiencia, “Aunque los fenómenos no sean cosas en sí mismas son lo único que nos puede ser dado a conocer”.<sup>228</sup> Fenómenos, pues, son todos los objetos posibles de nuestra experiencia, fenómenos, por otro lado, que sólo se dan en una síntesis espacio-temporal. Aunque Kant no niega la existencia de las cosas, pues el fenómeno sólo es posible porque existen las cosas, “la cosa en sí como no conocida por nosotros, a pesar de ser real por sí misma”,<sup>229</sup> los fenómenos son lo único que el hombre puede conocer de la naturaleza: lo que percibe a través de los sentidos, como concluye en las *Antinomias de la Razón Pura*.

---

<sup>226</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 3.

<sup>227</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 269.

<sup>228</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 235-A190.

<sup>229</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B XX.

Al comienzo de la *Estética trascendental* dice Kant: “Sean cuales sean el modo o los medios con que un conocimiento se refiera a los objetos, la intuición es el modo por medio del cual el conocimiento se refiere inmediatamente a dichos objetos y es aquello a que apunta todo pensamiento en cuanto medio”,<sup>230</sup> Pero para que estas intuiciones sean posibles es necesario que estén sometidas a las condiciones formales del tiempo y del espacio: “El principio supremo de toda intuición en relación con la sensibilidad era, de acuerdo con la estética trascendental, que toda intuición se hallaba sujeta a las condiciones formales del espacio y el tiempo”.<sup>231</sup> Intuición sensible que tiene como formas puras el espacio y el tiempo y, como materia, lo dado. Espacio y tiempo, pues, no representan ninguna propiedad de las cosas como son en sí mismas ni tampoco de sus relaciones mutuas.

Pero los objetos así percibidos, también pueden ser pensados, y el resultado de ese proceso del entendimiento son los conceptos. “Nuestro conocimiento surge básicamente de dos fuentes del psiquismo: la primera es la facultad de recibir representaciones (receptividad de las impresiones); la segunda es la facultad de conocer un objeto a través de tales representaciones (espontaneidad de los conceptos)”.<sup>232</sup> Las formas puras de los conceptos serán las categorías y su materia las intuiciones. Son dos, por tanto, los elementos con los que construimos nuestro conocimiento, “de modo que ni los conceptos pueden suministrar conocimientos prescindiendo de una intuición que les corresponda de alguna forma, ni tampoco hacerlo la intuición sin conceptos”.<sup>233</sup> Es decir: las intuiciones sin los conceptos son ciegas y los conceptos, sin intuiciones, están vacíos. Se pone de manifiesto aquí la herencia más directa del empirismo de Locke y, sobre todo, de Hume. Kant distingue entre la sensibilidad, que es perceptiva y a través de la cual los objetos nos son dados y el entendimiento, que es activo y a través del cual los objetos son pensados. Por la primera tenemos intuiciones. El segundo es la fuente de los conceptos.

Con esta doble dualidad -como afirma Deleuze en sus lecciones sobre Kant, dictadas entre marzo y abril de 1978- Kant conserva algo de la vieja separación entre esencia y apariencia aunque, ahora, lo importante para el conocimiento es la pareja aparecer / condiciones del aparecer y el hecho de que se haya operado este cambio, trasladando la atención hacia este nuevo par de términos que, a diferencia

---

<sup>230</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 19-B 33.

<sup>231</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 136.

<sup>232</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 50-B 74.

<sup>233</sup> KANT, I. *CRP ibid.*

del anterior, no es disyuntivo sino conjuntivo, “asegura una promoción del sujeto en tanto que el sujeto constituye las condiciones mismas de la aparición, en lugar de constituir y ser responsable de las limitaciones de la apariencia, o las ilusiones de la apariencia.”<sup>234</sup>

La Sección Segunda de la *Estética Trascendental* está dedicada a la *Exposición metafísica del concepto de tiempo* y es aquí donde Kant establece los puntos fundamentales sobre los que se apoya su concepto de tiempo, a saber: que el tiempo no es un concepto empírico extraído de la experiencia -tanto la percepción de la simultaneidad como la percepción de la sucesión sólo son posibles porque la representación del tiempo es a priori de la experiencia-. “El tiempo es una representación necesaria que sirve de base a todas las intuiciones”.<sup>235</sup> Así como los fenómenos podrían ser suprimidos de la experiencia, no ocurre lo mismo con el tiempo, porque el tiempo es una condición necesaria, a priori de toda experiencia.

Todo enunciado apodíctico que es posible formular sobre las relaciones temporales se basa en uno sólo: que tiempos diferentes no son simultáneos sino sucesivos; y la universalidad de este principio no puede ser suministrado por la experiencia, que carece de este carácter universal. Pero el tiempo tampoco es un concepto discursivo sino una forma pura de la intuición sensible. “La proposición es sintética y no puede derivar de simples conceptos. Se halla, pues, contenida en la intuición y en la representación del tiempo”.<sup>236</sup>

Así como para Leibniz todas las proposiciones son analíticas y, por lo tanto, espacio y tiempo son reductibles al orden de los conceptos, para Kant es imposible reducir las determinaciones espacio-temporales a determinaciones conceptuales. Hay un aspecto del espacio y del tiempo que es irreductible al orden del concepto. Si para Leibniz el tiempo es una relación, la relación del orden de las sucesiones posibles, lo que implica -como en Aristóteles, aunque en otro sentido- una subordinación del tiempo al orden de las cosas, para Kant, por el contrario, el tiempo es algo formal, más aún, forma pura y, por consiguiente, está liberado del movimiento, liberado del fenómeno y, por supuesto, también del nómeno, de las cosas en sí. No es algo ni que exista por sí mismo ni que proceda de la determinación objetiva de los objetos, “el tiempo no es sino la forma pura de la intuición y, por consiguiente, la forma de

---

<sup>234</sup> DELEUZE, G. *Cuatro lecciones sobre Kant*. [www.philosophia.cl/Escuela de Filosofía Universidad ARCIS](http://www.philosophia.cl/Escuela de Filosofía Universidad ARCIS), 1978, p. 8.

<sup>235</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 31.

<sup>236</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 32.

los objetos en cuanto fenómenos”.<sup>237</sup> Es decir, si todo concepto empírico procede necesariamente de la intuición empírica, el tiempo es la forma que los hace posibles y, como tal forma pura, ni es concepto ni procede de la experiencia.

Al ser siempre sensible nuestra intuición, no puede darse en nuestra experiencia ningún objeto que no esté sometido a la condición del tiempo. Negamos, en cambio, a éste toda pretensión de realidad absoluta, es decir, que pertenezca a las cosas como condición o propiedad de las mismas, independientemente de su referencia a la forma de nuestra intuición sensible.<sup>238</sup>

Por otra parte, el tiempo ya no está subordinado a lo que pasa en él, es lo que pasa que se subordina al tiempo. Si para Newton tanto el espacio como el tiempo son absolutos y no una propiedad de las cosas particulares y para Leibniz son algo relativo al orden de coexistencia y al orden de sucesión, para Kant espacio y tiempo constituyen formas puras, condiciones de posibilidad de la experiencia; ni un absoluto ni algo relativo al movimiento y al cambio, sino un *a priori*. Se trata, más bien, de algo relativo al hecho del conocimiento, a la propia experiencia.

Y esto es consecuencia del llamado *giro copernicano* operado por Kant en este proyecto de crítica: ahora el foco está en el propio conocimiento y, por tanto, en el sujeto de éste, que es quien lo produce. Mientras que en Aristóteles hay un modo de ser que es el tiempo porque hay un modo de ser fundamental que es el movimiento, y hay movimiento porque hay un mundo material que está pasando constantemente de su posibilidad de ser a la realización del acto, de la imperfección a la perfección, Kant invierte este postulado: el movimiento, el cambio que nos revela nuestra experiencia, sólo lo percibimos porque existe esa entidad, el tiempo que, junto con el espacio, es forma presente -y en cierto modo, también ausente- en toda experiencia al constituir las condiciones de posibilidad de todas las cosas en cuanto fenómenos, del *aparecer* de las cosas.

Si el espacio es la forma pura propia de los fenómenos externos, el tiempo constituye la condición a priori tanto de la experiencia externa como de la interna, “absolutamente todos los fenómenos, es decir, todos los objetos de los sentidos, se hallan en el tiempo y poseen necesariamente relaciones temporales”.<sup>239</sup> Es la condición formal a priori que hace posible toda intuición. Pero -advierte en la

---

<sup>237</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 143.

<sup>238</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 52.

<sup>239</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 51.

*Deducción Transcendental*- “aun siendo conocimientos a priori, tienen que referirse necesariamente a objetos, haciendo posible un conocimiento sintético de éstos con independencia de toda experiencia”.<sup>240</sup>

El tiempo es condición inmediata de los fenómenos internos y mediata de los fenómenos externos. En el primer caso, condición *inmediata* de la actividad de la espontaneidad del *yo pienso* cartesiano; en el segundo, condición *mediata* de la receptividad de la intuición. Dos dominios que son heterogéneos entre sí y que, precisamente el tiempo es lo que permite poner en relación.

El tiempo no puede dejar de ser pensado, es una constante, por eso el tiempo no es un concepto discursivo o universal, sino una forma pura de la intuición sensible, una proposición sintética que se da de forma inmediata en la intuición. En ello reside su validez objetiva y su realidad empírica. “El tiempo ha de ser, pues, considerado en cuanto modo de representarme a mí mismo como objeto”.<sup>241</sup> No tiene una realidad absoluta ni pertenece a las cosas como propiedad de éstas, independiente de su referencia a la forma de nuestra intuición sensible. “El tiempo no es más que una forma de nuestra intuición interna. Si quitamos de él la peculiar condición de nuestra sensibilidad, desaparece el mismo concepto de tiempo; no es inherente a los objetos mismos, sino simplemente al sujeto que los intuye”.<sup>242</sup> En eso consiste su idealidad trascendental. Es decir, con Kant el tiempo, superando la dicotomía entre el mundo y el alma, pasa a ser considerado como entidad formal, como forma pura desplegada en el hecho de la experiencia; no es el tiempo cosmológico pero tampoco es el tiempo psicológico<sup>243</sup>. El tiempo es empíricamente real, pero es trascendentalmente ideal. “No es nada puesto que lo abstraemos de las condiciones subjetivas de la percepción y no puede atribuirse a las cosas en sí mismas”.<sup>244</sup> Frente al idealismo de Berkeley, para el cual el ser es ser percibido, Kant propone el idealismo trascendental según el cual

Todo cuanto intuimos en el espacio o en el tiempo, esto es, todos los objetos de la experiencia que nos es posible, no son otra cosa que fenómenos, es decir, simples representaciones que, tal como son representadas, como seres extensos o como

---

<sup>240</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 89.

<sup>241</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 54.

<sup>242</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 54-A 38.

<sup>243</sup> Si bien el tiempo es algo del sujeto, es una condición a priori del hecho de experiencia, no es el producto de la experiencia, lo que sí viene a ser el tiempo psicológico.

<sup>244</sup> KORNER, S. *Kant*. Madrid: Alianza Universidad, 1955, p. 34.

series de cambios, no poseen existencia propia, independientemente de nuestros pensamientos.<sup>245</sup>

Para Kant, la experiencia necesita la cooperación de la facultad sensible tanto como la de la facultad del entendimiento. Únicamente tenemos experiencia de fenómenos y éstos los construye el sujeto de conocimiento en el hecho de la experiencia imponiendo sus condiciones a priori. Así, todo fenómeno consiste, en última instancia, en una serie de representaciones mentales propias del sentido interno:

Toda representación, tenga o no por objeto cosas externas, corresponde en sí misma, como determinación del psiquismo, al estado interno. Ahora bien, éste se haya bajo la condición formal de la intuición interna y, por consiguiente, pertenece al tiempo. En consecuencia, el tiempo constituye una condición *a priori* de todos los fenómenos en general, a saber, la condición inmediata de los internos (de nuestras almas) y, por ello mismo, también la condición mediata de los externos”.<sup>246</sup>

De lo que se desprende que el tiempo no puede ser definido dado que cualquier concepto que utilicemos para hacerlo será un concepto que presupone el tiempo. El tiempo no es un concepto, es una intuición. Y esta intuición tiene un carácter de infinito en el sentido de que cada vez que fijamos un intervalo, un fragmento de tiempo, lo hacemos necesariamente estableciendo limitaciones en un tiempo único, de mayor magnitud. Es evidente, afirma “que, si suponemos un límite del mundo en el espacio o en el tiempo, nos vemos obligados a asumir por entero estos dos absurdos: un espacio vacío fuera del mundo y un tiempo vacío anterior al mundo”.<sup>247</sup> Porque no es el tiempo el que pasa, sino que es la existencia de lo transitorio lo que pasa en él, pero tampoco es el tiempo lo que cambia, sino lo contenido en él. Y en este aspecto reconocemos la huella del tiempo absoluto de Newton.

Pero, como hemos visto, movimiento y cambio, sólo se dan en la realidad fenoménica cuya forma es el tiempo, forma que reside en el sujeto de conocimiento y que determina toda nuestra experiencia y sólo a través de ella podemos llevar a cabo nuestras representaciones. En definitiva,

No se trata sólo de que en esta última [intuición interna] las representaciones de los *sentidos externos* constituyan la verdadera materia con la que ocupamos nuestro psiquismo, sino que el tiempo en el que situamos dichas representaciones –tiempo

---

<sup>245</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 591-B 519.

<sup>246</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 34.

<sup>247</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 431- B 459.



que, a su vez, precede a la conciencia de las mismas en la experiencia y les sirve de base en cuanto condición formal de nuestro modo de situarlas en el psiquismo-contiene ya relaciones de sucesión, de simultaneidad y de aquello que coexiste con lo sucesivo (lo permanente).<sup>248</sup>

### 3.3 El tiempo y la síntesis

El sujeto kantiano no es una substancia sino una síntesis entre dos ámbitos coexistentes e irreductibles entre sí: la espontaneidad del entendimiento y la receptividad de la intuición. Un sujeto que ahora, por lo tanto, es heterogéneo pues ha perdido la homogeneidad que postulaba el cartesianismo.

Cualquiera que sea la procedencia de nuestras representaciones, bien sean producidas por el influjo de las cosas exteriores, bien sean resultado de causas internas, lo mismo si han surgido a priori que si lo han hecho como fenómenos empíricos, pertenecen, en cuanto modificaciones del psiquismo, al sentido interno y, desde este punto de vista, todos nuestros conocimientos se hallan, en definitiva, sometidos a la condición formal de tal sentido, es decir, al tiempo. En él han de ser todos ordenados, ligados y relacionados.<sup>249</sup>

La relación entre estas dos formas hace posible el conocimiento en virtud de tres síntesis que tienen lugar en todo hecho de conocimiento: síntesis de la aprehensión en la intuición, síntesis de la reproducción en la imaginación y síntesis del reconocimiento en el concepto. En la intuición sensible ya se produce la primera síntesis, la síntesis de la aprehensión por la cual surge la unidad de la diversidad. Este acto ofrece una variedad contenida en una representación. “En efecto, los mismos fenómenos no son, en la aprehensión, otra cosa que una síntesis empírica (en el espacio y en el tiempo) y no se dan, por tanto, sino en esa síntesis”.<sup>250</sup> Cualquier intuición nos ofrece una gama de variedades, pero sin el tiempo no obtendríamos ninguna información más allá del instante. Toda la información sensible es reunida por medio de esta síntesis, síntesis que, por otro lado, no procede de la relación entre conceptos.

---

<sup>248</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 67.

<sup>249</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 99.

<sup>250</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 499.

Esas representaciones a que ha dado lugar la síntesis de la aprehensión son representaciones que se suceden unas a otras, que se asocian y se ligan entre sí. Para que la diversidad de estos fenómenos pueda ser unificada y, por consiguiente, podamos hablar, no ya de fenómenos sino de objetos concretos, necesitamos una regla que lo haga posible: la síntesis de reproducción de la imaginación. Síntesis que es el proceso por el cual se mantiene en la imaginación la posibilidad de reproducir la parte precedente cuando llega la siguiente:

Si mi pensamiento dejara escapar siempre las representaciones precedentes (las primeras partes de la línea, las partes antecedentes del tiempo o las unidades representadas sucesivamente) y no las reprodujera al pasar a las siguientes, jamás podría surgir una representación completa ni ninguno de los pensamientos mencionados.<sup>251</sup>

Ahora bien, la reproducción no remite a la síntesis como acto ni de la receptividad ni del concepto, sino de la imaginación. La síntesis de la reproducción en la imaginación permite determinar un espacio y un tiempo porque imaginar, para Kant, no es generar imágenes sino que consiste en determinar un espacio y un tiempo en el espacio y en el tiempo. La síntesis de aprehensión en la intuición es posible porque la intuición tiene el espacio y el tiempo como formas puras; y la síntesis de reproducción es posible por la forma del tiempo determinado y del espacio determinado, como acabamos de señalar. El tiempo es necesario para la síntesis de aprehensión, como forma pura de la misma y, a su vez, es necesario como forma del tiempo determinado en la síntesis de reproducción.

Aunque con estas dos síntesis ya están determinados un espacio y un tiempo para las representaciones, sin embargo, no hay conocimiento hasta que este espacio y este tiempo así determinados por la intuición y por la imaginación puedan ser relacionados con la forma de un objeto, y esto se produce en la tercera síntesis: la síntesis del reconocimiento en el concepto. Es necesario referir las representaciones de la imaginación a la unidad de un objeto, objeto que es distinto de dichas representaciones, y que sobrepasa lo que es dado en la intuición. Este acto de síntesis remite al entendimiento. Los conceptos o representaciones del entendimiento son los predicados del objeto en aplicación de las categorías del entendimiento. El reconocimiento de un objeto cualquiera es la unidad de la síntesis en el entendimiento.

---

<sup>251</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 102.

En definitiva: en la síntesis se relaciona una forma espacio-temporal con una forma conceptual, la forma de objeto. Y es por tratarse de una correspondencia entre determinaciones que son heterogéneas entre sí –espacio-temporales y conceptuales- que se trata de operaciones sintéticas. Remitimos a un concepto -la forma del objeto- lo diverso que ha sido sintetizado previamente en la síntesis de la aprehensión, y en la síntesis de la reproducción. Y esta tercera síntesis opera con una regla de reconocimiento.

Ahora bien, esta síntesis es la expresión de la unidad de conciencia del yo *trascendental*, único sujeto del conocimiento. Es decir, para que se dé esta unidad del objeto es necesario que haya una conciencia de sí -apercepción pura- cuya forma es, precisamente, el tiempo. Una autoconciencia que posibilita la síntesis sucesiva de la aprehensión de las partes, representaciones que puedo llamar más en virtud de esta unidad de conciencia de sí:

En efecto, las diferentes representaciones dadas en una intuición no llegarían a formar conjuntamente mis representaciones si no perteneciesen todas a una autoconciencia. Es decir, como representaciones más (aunque no tenga conciencia de ellas en calidad de tales) deben conformarse forzosamente a la condición que les permite hallarse juntas en una autoconciencia general, porque, de lo contrario, no me pertenecerían completamente. [...] Así, la completa identidad de apercepción de la diversidad dada en la intuición contiene una síntesis de las representaciones y sólo es posible gracias a la conciencia de esa misma síntesis.<sup>252</sup>

Se trata de la unidad de apercepción, *el yo pienso que debe poder acompañar necesariamente todas mis representaciones*:

No pueden darse en nosotros conocimientos, como tampoco vinculación ni unidad entre los mismos, sin una unidad de conciencia que preceda a todos los datos de las intuiciones. Sólo en relación con tal unidad son posibles las representaciones de objetos. Esa conciencia pura, originaria, e inmutable, la llamaré apercepción trascendental.<sup>253</sup>

Ya hemos visto las condiciones espacio-temporales que, como formas puras a priori son necesarias en las síntesis de la intuición –aprehensión- y en la de la imaginación –reproducción-. Veamos ahora cómo es posible la síntesis de apercepción en la conciencia empírica.

---

<sup>252</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 133.

<sup>253</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 107.

### 3.4 El tiempo y los conceptos

Como apuntábamos más arriba, el sujeto kantiano consiste en una síntesis de dos formas heterogéneas entre sí: la intuición, por un lado, y el entendimiento- en cuya espontaneidad interviene, también, el concepto de tiempo, aunque de una forma mediada por las categorías y el espacio- por otro. “Todas las intuiciones sensibles se hallan bajo las categorías como únicas condiciones bajo las cuales puede coincidir la diversidad de esas intuiciones en una conciencia”.<sup>254</sup> Las categorías pertenecen únicamente al ámbito del entendimiento, independiente de la sensibilidad. Y los conceptos puros del entendimiento también median en la conciencia temporal. La unidad de una intuición viene prescrita por las categorías del entendimiento. A partir de las categorías Kant efectúa la deducción de los conceptos que van a intervenir en cualquier experiencia. Si lo que caracteriza al sentido interno es la estricta *sucesión* –esto es, su carácter temporal- de las representaciones –es decir, lo que define a los fenómenos como manifestación de la mente que los genera- el tiempo también se halla incluido en el significado de los conceptos puros del entendimiento que proporcionan al objeto el carácter de objeto.

Hemos visto el tiempo, en primer lugar, como forma pura de la intuición; en segundo lugar, el tiempo como necesario para las síntesis que se producen en la imaginación y el entendimiento. Ahora veremos que el *esquematismo* nos muestra el tiempo como la condición formal y pura de la sensibilidad sin la cual sería imposible aplicar las categorías a los objetos.

Si la *síntesis* consiste en hacer corresponder un concepto a unas determinaciones espacio-temporales, el *esquema* trascendental es la operación opuesta, es decir, la determinación de representaciones a partir de las categorías. Mientras que la síntesis en los conceptos opera por reconocimiento, el esquema opera por una regla de producción: dado un concepto, puedo producir en la intuición –en el espacio y en el tiempo- un objeto conforme al concepto. Los conceptos son posibles porque se aplican a objetos determinados espacial y temporalmente. Para establecer esta relación es necesario un tercer elemento, el tiempo que, como forma pura a priori, comparte con ambas formas algunas de sus características, a saber: es *a priori* pero al mismo tiempo es una condición para toda intuición, sea interna o externa. La intuición sólo es posible si tiene lugar en el tiempo. El tiempo es, por lo tanto, el

---

<sup>254</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 143.

elemento que posibilita la aplicación de las categorías a aquello que es intuitivo. Es decir, el tiempo es la condición necesaria para que una categoría se convierta en esquema:

Llamaremos a esa condición formal y pura de la sensibilidad, a la que se halla restringido el uso de los conceptos del entendimiento, esquema de esos conceptos y denominaremos esquematismo del entendimiento puro al procedimiento seguido por el entendimiento con tales esquemas.<sup>255</sup>

Para reforzar esta idea Kant propone un ejemplo: “el concepto de perro significa una regla conforme a la cual una imaginación es capaz de dibujar la figura de un animal cuadrúpedo en general, sin estar limitado ni a una figura particular que ofrezca la experiencia ni a cualquier posible imagen que pueda representar en concreto”.<sup>256</sup> Para Kant las categorías pertenecen al entendimiento y con ellas construimos el conocimiento. Nada dicen de las cosas en sí ni proceden de la experiencia, sino que la posibilitan. “En relación con los fenómenos y con la mera forma de éstos, el esquematismo del entendimiento constituye un arte oculto en lo profundo del alma humana”.<sup>257</sup>

Así como el espacio y el tiempo, como formas puras de la intuición y condiciones de la aparición de los fenómenos, son *presentaciones*, las categorías son *representaciones* proporcionadas por el entendimiento en su actividad espontánea. En el esquematismo de los conceptos puros Kant define los conceptos, tales como realidad, substancia, causalidad o posibilidad, entre otros, en clave temporal:

El esquema de una realidad, como cantidad de algo, en la medida en que llena el tiempo, consiste precisamente en esa continua y uniforme producción de tal realidad en el tiempo. [...] El esquema de la sustancia es la permanencia de lo real en el tiempo, esto es, la representación de tal realidad como sustrato de la determinación empírica temporal en general, sustrato que, consiguientemente, permanece mientras cambia todo lo demás. [...] El esquema de la causa y de la causalidad de una cosa en general es la realidad a la que se sigue algo distinto, una vez puesta esa realidad, en cualquiera que sea. [...] El esquema de la comunidad (acción recíproca) o de la causalidad recíproca de la sustancia respecto a los accidentes es la coexistencia de las determinaciones de una relación conforme a una regla universal. [...] El esquema de la posibilidad es la concordancia de la síntesis de distintas representaciones con las condiciones del tiempo en general [...] El esquema consiste, pues, en determinar la

---

<sup>255</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 140.

<sup>256</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 141.

<sup>257</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 181.

representación de una cosa con relación al tiempo. [...] El esquema de la realidad es la existencia en un tiempo determinado. [...] El esquema de la necesidad es la existencia de un objeto en todo tiempo.<sup>258</sup>

Así, el tiempo, que es condición inmediata del sentido interno, queda integrado totalmente en la objetividad de las cosas que llenan la experiencia determinada por estas categorías. El esquema, pues, consiste en la determinación de la representación de una cosa en relación al tiempo:

Los esquemas no son, pues, más que determinaciones del tiempo realizadas a priori según unas reglas que, según el orden de las categorías, se refieren a los siguientes aspectos del tiempo: serie, contenido, orden y, finalmente, conjunto, en relación todos ellos con la totalidad de los objetos posibles.<sup>259</sup>

Estos esquemas son los que posibilitan que los conceptos puedan aplicarse a objetos y que, por ello, tengan significación; los que hacen posible adecuar los fenómenos en una experiencia, transformar su diversidad en unidad. Pero tal significación les viene de la sensibilidad que, a la vez que limita el entendimiento, lo realiza. Y, como ya señalamos, la afirmación de la existencia de las cosas y de sus relaciones sólo la podemos entender y comprender en una dimensión temporal; dimensión temporal que no pertenece a las cosas como son en sí mismas ni al concepto que las define, sino que es la forma pura del sentido interno del entendimiento humano. En función del tiempo la inteligencia une las representaciones de la sensibilidad, porque toda sensación es una representación en el sentido interno que tiene que ver con el tiempo. Son las condiciones del sujeto que comunican, que imponen su estructura al objeto.

En la *Primera Analogía* Kant afirma el tiempo objetivo al hablar del principio de permanencia. Todos los fenómenos se hallan en el tiempo, tienen el tiempo como sustrato, como forma permanente de la simultaneidad y de la sucesión desde la cual pensamos toda modificación de los sentidos. Pero, como el tiempo no lo podemos percibir por sí mismo, no tenemos más remedio que buscar en los fenómenos el sustrato que nos permita representar el tiempo en general y que nos sirva como referencia, como base, para todo cambio o simultaneidad percibidos en la aprehensión a través de la relación de los fenómenos:

---

<sup>258</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 143 -145.

<sup>259</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 185.

Las relaciones de tiempo sólo son, pues, posibles desde lo permanente (ya que no hay más relaciones de este tipo que las de simultaneidad y las de sucesión); es decir, lo permanente es el sustrato de la representación del tiempo mismo. Únicamente a partir de este sustrato es posible la determinación temporal. Como constante correlato de toda existencia de los fenómenos, de todo cambio y de toda concomitancia, la permanencia expresa el tiempo.<sup>260</sup>

Podríamos decir que en Kant el tiempo se desdobra en tiempo objetivo y tiempo subjetivo. El tiempo, que es forma de los fenómenos en general, se escinde en dos temporalidades: la que se objetiva en la medida en que los fenómenos pasan a ser determinaciones objetivas al ser enlazados por los conceptos puros -condición mediata de los fenómenos externos- y la temporalidad que registra el curso subjetivo de las experiencias -condición inmediata de los fenómenos internos- en la mente. La permanencia temporal de la sustancia no es la misma permanencia que se da en las actividades mentales con las que se conoce. Por el contrario un objeto permanente es conocido como tal a lo largo de un proceso cambiante de percepciones que constatan la persistencia de la sustancia en el tiempo, pues el conocimiento de la permanencia de las cosas arrastra consigo una conciencia de la sucesión de las sensaciones que han sido vividas cuando se producía ese conocimiento:

Es manifiesto que la permanencia objetiva de la sustancia permite una clara distinción entre el tiempo objetivo, caracterizado por la persistencia, y la duración subjetiva de las representaciones que la constatan recorriendo sus diversas determinaciones fenoménicas en un proceso sucesivo.<sup>261</sup>

Y, en este sentido, la distinción entre sustancia y accidentes consiste en que los accidentes no son más que los varios estados por los que la sustancia va pasando a lo largo de su existencia. Esta afirmación kantiana ya pone de manifiesto el inicio de una mayor consideración del tiempo en relación al paradigma eminentemente espacial que venía dominando el pensamiento clásico. La constatación de que la sustancia se va modificando continuamente –señala Kant- es lo que permite concebir la idea de accidentes frente a la idea de sustancia, siendo ésta última lo único realmente existente.

Frente a esta interpretación, la interpretación escolástica consideraba que los

---

<sup>260</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 183.

<sup>261</sup> MONTERO, F. *Mente y sentido interno en la Crítica de la razón pura*, Barcelona: Editorial Crítica, 1989, p. 205.

accidentes tenían existencia, aunque ésta no fuera una existencia independiente de la substancia y, en virtud de esto, no era propiamente la substancia lo que se modificaba sino que los accidentes *van y vienen*, inhiriendo en ella pero dejándola intacta. Pero, como señalará Kant:

La correcta comprensión del concepto de *cambio* depende igualmente de esa permanencia. El surgir y el desaparecer no son *cambios* de lo que surge o desaparece. El cambio constituye un modo de existir que sigue al anterior modo de existir del mismo objeto. Todo lo que cambia es, pues, *permanente*: sólo *cambia su estado*.<sup>262</sup>

La modificación pertenece a la substancia, que es lo único que existe, aunque siempre en diversos estados. Y -como defiende Fernando Inciarte en su artículo ya citado aquí anteriormente, *Tiempo, substancia, lenguaje*- esta concepción de substancia le confiere a la misma una cierta dimensión temporal, frente a la espacialidad que sugiere la concepción predominante en la interpretación escolástica de la inherencia, cuestión que lleva al planteamiento de la relación entre una ontología de la *substancia* y una ontología del *proceso*, dos tipos de ontología que suelen considerarse contrapuestos.

Llamando la atención sobre este particular Kant inicia un cambio de paradigma en lo que respecta al concepto de substancia: de un paradigma espacial y estático a un paradigma temporal y dinámico, enlazando así con la concepción aristotélica que considera que la distinción entre substancia y accidentes es sólo de razón, un producto de la abstracción del intelecto. Por el contrario, según el paradigma estático que dominaba el pensamiento escolástico y culminó en la concepción newtoniana de espacio y tiempo absolutos, no es propiamente la substancia la que cambia sino que ésta permanece y son los accidentes los que, inhiriendo en ella, constituyen el cambio. Esto había permitido que el tiempo –que para Aristóteles era, como hemos visto, un accidente, carente de existencia propia e independiente- pudiera llegar a adquirir la categoría de substancia que Newton le atribuye. Ahora, como decimos, Kant afirmará que sólo lo que permanece se modifica, enlazando, así, con la concepción aristotélica de la substancia.

---

<sup>262</sup> KANT, E. *CRP op. cit.* A 187/B 230.



### 3.5 El tiempo y el sujeto

Kant cuestiona explícitamente la concepción de sujeto que se ha impuesto con el cartesianismo en el pensamiento occidental y en este sentido sentencia que “nos hallamos ya ante una presunta ciencia edificada sobre la única proposición *yo pienso*, una ciencia cuyo fundamento o falta de fundamento podemos investigar aquí con toda propiedad y de acuerdo con la naturaleza de una filosofía trascendental.”<sup>263</sup>

El tiempo y el espacio intervienen en la determinación del valor objetivo de los contenidos, tanto de la intuición interna como de la externa; en tanto que son formas puras prefiguran nuestra experiencia –no podemos conocer cosa alguna que no sea espacio-temporal-, pero no nos aportan nada de cómo sean las cosas en sí mismas. Y, del mismo modo, tampoco, nos muestran cómo es el propio sujeto de conocimiento:

Un obstáculo importante, el único que se opondría a nuestra crítica, se presentaría en el caso de que fuese posible demostrar a priori que todos los seres pensantes son en sí sustancias simples, sustancias que, consiguientemente (como se desprendería de la misma demostración), conllevan inseparablemente su personalidad y que son conscientes de su existencia completamente separada de la materia. En efecto, de este modo hubiésemos dado un paso más allá del mundo de los sentidos. Hubiésemos entrado en el campo de los noúmenos y, entonces, nadie nos hubiese negado el derecho de avanzar y establecernos en él y de ocuparlo según la buena estrella favoreciese a cada uno.<sup>264</sup>

Con ello señala Kant que el adversario al que va a rebatir es el racionalismo cartesiano y que lo va a hacer en el marco de su doctrina trascendental.

En la *Deducción Trascendental*, superada la explicación de cómo es posible la experiencia, se plantea la pregunta acerca de la legitimidad de nuestro conocimiento. Como ya señalamos, tal experiencia sólo es posible mediante la reunión de las diversas impresiones sensibles, lo que permite hablar de uno y el mismo objeto en lugar de una mera sucesión de impresiones sensibles. Pero, además, las impresiones que se suceden deben poder ser reproducidas por la imaginación de manera que no se desvanezcan a su paso del presente al pasado.

---

<sup>263</sup> KANT, I. *CRP op. cit.*, B 401-A 343.

<sup>264</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 409.

Y no sólo debe la imaginación reproducir la anterior impresión sensible sino que estas impresiones sensibles deben ser, además, susceptibles de ser reconocidas como tales impresiones sensibles para que se dé el conocimiento. Aprehensión, reproducción y reconocimiento son, pues, los tres aspectos de un único acto, el acto del conocimiento que lleva a cabo el sujeto cognoscente.

El análisis de las diferentes síntesis mediante las que se produce el conocimiento lleva a Kant a postular la necesaria unidad del sujeto:

No puede darse en nosotros conocimientos, como tampoco vinculación ni unidad entre los mismos, sin una unidad de conciencia que preceda a todos los datos de las intuiciones. Sólo en relación con tal unidad son posibles las representaciones de objetos. Esa conciencia pura, originaria e inmutable, la llamaré la *apercepción trascendental*. [...] La unidad numérica de esa apercepción sirve, pues, de base a priori a todos los conceptos, al igual que lo diverso del espacio y del tiempo lo hace respecto de las intuiciones de la sensibilidad.<sup>265</sup>

La síntesis, que hace posible el conocimiento y que incluye el triple proceso que hemos descrito, permite a Kant superar, tanto el realismo ingenuo como el idealismo. La pregunta sobre cómo se produce el conocimiento apunta directamente al sujeto, que ahora se problematiza junto con el objeto del conocimiento.

El fenómeno es lo que podemos conocer de la cosa en sí, es lo que se constituye en objeto de conocimiento, pero no podemos perder de vista que fenómeno y noúmeno no son dos cosas sino que son dos aspectos de una misma cosa: lo que la cosa es en sí misma y cómo ésta se me aparece. Y la cosa *aparece* transformada por la naturaleza de nuestra sensibilidad y de nuestro conocimiento, cuyas formas puras son el tiempo y el espacio, por lo que lo que manejamos en todo momento son fenómenos, esto es, una vez más, la aparición de la cosa en sí ante nuestra sensibilidad. “Lo que sean las cosas en sí mismas no lo sé, ni necesito saberlo, ya que no se me puede presentar una cosa más que en el fenómeno”.<sup>266</sup> Así, el concepto de objetividad aplicado a la experiencia es un concepto que hace referencia a una cosa desconocida, independiente de la mente, dado que “nuestro modo de intuir no alcanza a todas las cosas, sino sólo a objetos de nuestros sentidos y, consiguientemente, se halla limitada su validez objetiva”.<sup>267</sup> Pero en su

---

<sup>265</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 107.

<sup>266</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 277.

<sup>267</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 343.

aparecer el objeto es mirado como algo realmente dado cuyas cualidades dependen realmente de él y de nuestra mente.

Para la metafísica cartesiana esta situación no era problemática puesto que la certeza del *yo* era lo primero y la de las cosas, se fundamentaba en la primera, pero para Kant, el *yo* como substancia simple no nos es dado originariamente, “sino que su idea nace en nosotros a base de las mismas síntesis, de las mismas funciones de asociación de lo múltiple que convierten el contenido de percepción en contenido de experiencia, la impresión en objeto”.<sup>268</sup> Así, para Kant no es posible acceder al *yo* mediante procedimientos tales como la introspección. El *yo* representado por medio del sentido interno en el tiempo y los objetos en el espacio fuera de mí constituyen fenómenos completamente distintos, pero no por ello son pensados como cosas distintas. El *yo* en sí mismo no podemos llegar a conocerlo; pertenece al mundo de lo nouménico. Y únicamente tenemos acceso al *yo empírico* tal como se muestra en nuestro sentido interno. El sentido interno es el encargado de esta operación; operación que sólo es posible por medio de su forma pura, el tiempo.

Para Kant el conocimiento del *yo* no pertenece a un contexto diferente del conocimiento del resto del mundo objetivo. No tenemos intuición intelectual de nuestra experiencia, por lo que no es posible obtener mediante la intelección nada que permita postular la existencia del sujeto. El *sí mismo* como existente aparece en el momento -y no antes- en que pensamos algo dado en el tiempo: sólo podemos, pues, conocernos en tanto que nos aparecemos en el tiempo en nuestra actividad espontánea, esto es, como fenómenos y no como algo en-sí-mismo. Por tanto, al contrario de lo que defendía el racionalismo cartesiano, no tenemos un conocimiento intuitivo de nuestra realidad interna, de nuestro *yo*:

Ahora bien, aunque dicha intuición intelectual es anterior, la intuición interna, única que puede determinar mi existencia, es sensible y se halla ligada a la condición de tiempo. Pero esta determinación y, por tanto, la misma experiencia interna, depende de algo permanente que no está en mí, de algo que, consiguientemente, está fuera de mí y con lo cual me tengo que considerar en relación.<sup>269</sup>

Para que sea posible la percepción de ideas como *mis* ideas es necesaria otra percepción: la conciencia de mí mismo o apercepción. Un *yo pienso* que como idea

---

<sup>268</sup> CASSIRER, E. *Kant, vida y doctrina. op. cit.* p. 233.

<sup>269</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B XL.

corresponde a un *sí mismo* como pensante. Pero este *yo*, como síntesis que hace posible todas las demás, no es conciencia de lo que yo soy. Para transformar el *yo pienso* o el *yo soy* en conocimiento de mí mismo tiene que darse la forma inmediata del sentido interno: el tiempo. Y éste es precisamente el *yo empírico* porque esta determinación sólo puede darse mediante y en el modo en que se efectúa la síntesis de las representaciones de la intuición en el sentido interno: siendo consciente de esta facultad de síntesis que está sometida a esta condición de temporalidad que es el propio sentido interno. El tiempo es imprescindible a la hora de determinar el sujeto del acto del conocimiento. Y es la sucesividad que registra el sentido interno lo que hace que el tiempo sea su condición inmediata.

Pero, al contrario que Descartes, Kant niega que la constatación del *yo pienso* sea suficiente para afirmar el yo como substancia. No hay ni puede haber intuición, conocimiento empírico, de un sujeto de experiencia, persistente e inmaterial. “El diagnóstico acerca de las fuentes de la ilusión es que el psicólogo racional, el filósofo cartesiano del alma, confunde la unidad de las experiencias con la experiencia de la unidad”.<sup>270</sup> El hecho de que esta unidad de sujeto sea una condición necesaria no significa que tengamos un conocimiento de esa unidad de sujeto. La unidad de la apercepción es trascendental y no la suministran las experiencias que proporciona el sentido interno.

La actividad intelectual no es un hecho temporal, no tiene un carácter fenoménico. “La razón está presente y es la misma en todas las acciones del hombre y en todas las circunstancias de tiempo. Pero ella misma no se halla en el tiempo ni pasa a un nuevo estado en que no se hallaba antes”.<sup>271</sup>

En definitiva, el tiempo para Kant es inherente al sujeto como condición necesaria para intuir y conocer los objetos. Podemos quitar los objetos del tiempo pero no podemos quitar el tiempo de los fenómenos. Ante la pregunta por la realidad del tiempo Kant responde afirmativamente pero su realidad no es otra que la que corresponde a la condición necesaria para que podamos pensar tanto los conocimientos empíricos como los conceptos a priori. Por lo tanto, en contraposición al tiempo absoluto de Newton, el tiempo para Kant no subsiste independientemente del sujeto: fuera del sujeto el tiempo no es nada en sí, pero,

---

<sup>270</sup> STRAWSON, P. F. *Los límites del sentido*. Madrid: Revista de Occidente, 1975, p. 44.

<sup>271</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* A 556 -B 584.

por otra parte, a diferencia del tiempo relacional de Leibniz, el tiempo kantiano no es algo ligado a los objetos mismos. Como afirma Francisco Canals,

Si el tiempo es condición a priori de todos los fenómenos en general, toda percepción y toda reproducción se producirán según el antes y después de la sucesión en el tiempo. Sólo el tiempo mismo, en su aprioridad y trascendentalidad, "no transcurre" (A 41, B 58), pero con esto mismo se revela su pertenencia y radicación en el sujeto pensante puro. La conciencia de nosotros mismos como consecuencia de las determinaciones de nuestro estado interno, es siempre meramente empírica y cambiante con las percepciones. Por esto no intuimos en los fenómenos internos un yo fijo y permanente.<sup>272</sup>

El tiempo es el modo en que la mente es afectada por su propia actividad, es decir, por sí misma, el acto de poner su propia representación, la intuición que tiene la mente de sí misma, la conciencia de sí. Y se intuye, no tal y como ella es, sino como se manifiesta fenoménicamente. El tiempo no es más que una condición subjetiva de nuestra intuición, que es siempre sensible. No tiene sentido hablar de un tiempo que lo sea para las cosas en sí, para los objetos trascendentales más allá de la experiencia. El tiempo pertenece a todo dato fenoménico y esto garantiza su realidad empírica.

### **3.6 El tiempo aristotélico y el tiempo kantiano vs. el tiempo newtoniano**

Si hasta aquí nos hemos acercado a las concepciones que tienen del tiempo Aristóteles, Newton y Kant, a continuación intentaremos poner de manifiesto ciertos elementos que ponen en contacto las concepciones de Aristóteles y Kant cuando las enfrentamos a la idea newtoniana de tiempo absoluto. Con ello pretendemos obtener una visión más completa del concepto de tiempo aristotélico y su evolución hasta nuestros días.

Kant rechaza la separación que establece Newton entre el tiempo absoluto y el tiempo de las cosas, y, al mismo tiempo, pretende superar la arbitrariedad del subjetivismo empirista. Su propuesta es que el tiempo, al igual que el espacio, es

---

<sup>272</sup> CANALS VIDAL, F. *Sentido de la deducción subjetiva en el "intento capital" de la crítica*. Convivium números 29-34, Facultad de filosofía y letras, Universidad de Barcelona, 1969, p. 99.

una forma *a priori* de la sensibilidad que condiciona y hace posible toda experiencia. Con Kant, el tiempo vuelve a colocarse en el sujeto, como una estructura de la sensibilidad cognoscitiva. En otras palabras, para Kant, y a diferencia de Newton, el tiempo no existe como una realidad exterior, y tampoco existe como algo que poseen las cosas en movimiento, sino como la manera de percibir propia del ser humano en tanto que sujeto de conocimiento. El tiempo existe como una forma de ordenar nuestra experiencia interna. No obstante, contrariamente a la concepción empirista, el tiempo kantiano no es una idea obtenida por abstracción a partir de la observación de los acontecimientos sino que es una estructura necesaria para cualquier observación, su condición necesaria. El tiempo es la posibilidad que tenemos, en tanto observadores, de percibir los acontecimientos. Y en este aspecto coinciden Aristóteles y Kant: la noción de tiempo no proviene de la experiencia sensible.

Si bien el tiempo kantiano no depende de las cosas en sí ni de los objetos, sino que más bien los constituye en tanto objetos de experiencia, no se trata de un tiempo absoluto, sustantivo y subsistente, sino de una forma de la intuición. Es algo del sujeto en tanto sujeto de experiencia y conocimiento. Afirma Kant que el sujeto no puede saber si fuera de él existe el tiempo realmente, como tampoco podemos conocer las cosas en sí. Fuera del sujeto el tiempo no es nada en sí. Pero el tiempo tampoco es algo accesible por la experiencia, es decir, no es algo que podamos aprehender en la experiencia, pues es un *a priori* de la experiencia, su condición de posibilidad. Podemos decir que, con Kant, el tiempo radica en el interior del sujeto, circunscrito al ámbito de las estructuras cognoscitivas.

Pero siendo, como es aquí, algo del sujeto, no se trata del tiempo subjetivo del empirismo, cuya idea se forma a partir de la experiencia humana de la sucesión de las cosas, una mera experiencia subjetiva, un modo psicológico de organizar las experiencias que carece de fundamento en lo real -el concepto de tiempo sostenido por el empirismo, como la misma idea de la causalidad, no tiene un valor objetivo y surge del hábito de la percepción de ciertos hechos-. Como hemos visto, el tiempo kantiano tampoco es nada fuera del sujeto pero, no se trata de una noción que el sujeto se forma a partir de la experiencia sensible. El tiempo kantiano es constitutivo de esa experiencia.

Como ya vimos, el tiempo de Aristóteles es subsidiario de las cosas en virtud de la numerabilidad de su movimiento, lo que lo hace directamente dependiente de un

sujeto capaz de numerar. Y para que percibamos los movimientos externos es condición necesaria que se dé en nuestra alma un cambio. De este modo es como el alma percibe el tiempo. En la medida en que el alma numera y constituye el tiempo, está fuera del tiempo, pero, puesto que también es cosa que se mueve, que cambia y, por tanto, numerable, está en el tiempo.

El tiempo de Aristóteles y el tiempo de Kant son en todas partes, en todas las cosas y fenómenos que atañen a una experiencia mientras que el tiempo de Newton no es en las cosas sino que, por el contrario, son las cosas las que son en el tiempo, que es por sí y al margen de todo acontecer. Así como las cosas temporales *están en* el tiempo absoluto newtoniano porque éste es el marco en el que suceden, para Aristóteles decir que las cosas temporales *están en* el tiempo no significa esto sino que las cosas *son medidas* por el tiempo.

Tanto Aristóteles como Kant se enfrentaron a las concepciones dominantes en el pensamiento de su época. Así como el Estagirita rebatía a los que negaban la realidad del movimiento, Kant, se enfrenta a la alternativa entre la sustantivación del espacio y el tiempo newtonianos y la subjetivación de éstos defendida por Leibniz.

Ante la cuestión de si el tiempo es una entidad real, existente por sí misma o, más bien, si su realidad es relativa a un hecho de conocimiento humano, ambos, Aristóteles y Kant, se desmarcan de la primera postura para defender una concepción del tiempo relacionada directamente con la actividad del sujeto. Para Aristóteles hay un modo de ser que es el tiempo porque hay un modo de ser, fundamental, que es el movimiento. Pero no es el movimiento, sino su *ser numerable* lo que define al tiempo. En este sentido, la postura de Kant es más radical: la experiencia nos revela el movimiento gracias a que existe en ella, en nuestra experiencia, el tiempo como su condición de posibilidad. El tiempo se erige así en principio intrínseco y universal de todo hecho de experiencia. Sin el factor temporal ninguna experiencia, interna o externa, tendría lugar. El tiempo impone su anterioridad respecto de toda experiencia y por eso es *a priori* en dos sentidos: en virtud de su necesidad y, también, de su universalidad. Así, si para Kant es imposible suprimirlo de cualquier representación y es contradictorio concebir tanto un comienzo como un final de la temporalidad -pues comenzar y terminar representan actos temporales que remiten necesariamente a un antes del comienzo y a un después del final- Aristóteles dirá que, así como es imposible que el movimiento comience o termine, también el tiempo se antecede y se sucede a sí

mismo y no nos permite encontrar tampoco un límite interno pues es infinitamente divisible.

Kant recuperó un aspecto de la relación entre substancia y accidentes que Aristóteles establecía en la *Metafísica* y que se había perdido de la mano de la escolástica. Este aspecto tiene que ver con la distinción que hace Aristóteles entre substancia y evento, entre acto y proceso. En este sentido, Kant llama la atención sobre las implicaciones que tiene atribuir a los accidentes una existencia como inherencia: esto derivaría en una sustantivación de los accidentes.

Frente a esta concepción de los accidentes, Kant propone la consideración de los accidentes, no como algo que *inhiera* en la substancia sino como una determinación, un modo de ser, de la propia substancia. Es decir, la substancia misma en uno de sus diferentes y cambiantes estados. Y los estados por los que pasa la substancia –que es lo que cambia–, no tienen existencia, sino que constituyen los distintos y múltiples modos de ser de la substancia. No se trata de atribuir a los accidentes una existencia –en tanto que inherentes– más débil que la substancia, sino que es ésta –la substancia– lo único que existe y los accidentes no son más que sus determinaciones, modos particulares según los cuales la substancia existe.

Siendo, para Aristóteles, el tiempo un accidente del movimiento, en tanto que su número, no podemos decir, pues, que su estatuto ontológico no sea otro que el que Aristóteles concede a los accidentes. Por otra parte, Kant, que en este punto recupera la ontología aristotélica, postulará la realidad objetiva del tiempo en función de su participación en la constitución de los objetos de la experiencia. El tiempo no es una cosa en sí. Es una forma de la intuición, que es un hecho de conocimiento constituido por el sujeto de conocimiento. Así, para ambos el tiempo carece de existencia propia y subsistente. Si para Aristóteles el tiempo es un accidente del movimiento, un predicado, para Kant es una forma pura de la experiencia, es su modo de ser, pero no es por sí. Y en ambos casos, no sería sin un sujeto de conocimiento, que es fundamental en su constitución. Pero tampoco se trata del tiempo *ideal* sino que se fundamenta en las cosas –en el caso de Aristóteles– y en el modo de aparecer de las cosas –en el caso de Kant.

El hecho del conocimiento se ha interpretado históricamente como una operación dual por la que se establece una clara dicotomía entre los elementos que lo



constituyen, esto es, alma / mundo, sujeto / objeto. Salvando todas las distancias - cronológica, histórica y filosófica- entre Aristóteles y Kant, no nos parece aventurado afirmar que el tiempo, en ambos casos, se inscribe dentro de este ámbito del conocimiento. La numerabilidad del movimiento no es otra cosa que su aparición –o la posibilidad de su aparición- ante los ojos del alma humana, del sujeto. Si el movimiento no fuera numerable habría movimiento pero no habría tiempo.

Esto no ocurre con el tiempo newtoniano, que es ajeno a esta dicotomía, como lo es al hecho del conocimiento y de todo lo que implique la actividad e intervención del sujeto. Es un tiempo de carácter metafísico-ontológico. Si bien el tiempo kantiano es *trascendental* porque es una condición, un a priori, de la experiencia, el tiempo newtoniano es *trascendente* porque no pertenece al ámbito de la experiencia sino al metafísico: es un atributo divino. Y, en tanto que tal, no es accesible al conocimiento. El tiempo kantiano no es accesible al conocimiento por una razón bien distinta: porque es la propia forma y condición del conocimiento. “Es en sí mismo que el pensamiento cobija lo que se resiste al pensamiento”.<sup>273</sup>

Si bien hay un abismo entre el pensamiento de Aristóteles y el de Kant –un abismo cronológico y también conceptual- en ambas concepciones de tiempo podemos encontrar algunos puntos en común. Estos puntos en común se ponen de manifiesto cuando los confrontamos con el concepto newtoniano de tiempo absoluto. A partir de esta idea podemos encontrar otros aspectos del pensamiento kantiano que -en este contraste con el pensamiento racionalista culminado por la ciencia moderna- emergen y se ponen de manifiesto para evocar algunos de los elementos de la metafísica aristotélica que, a lo largo de la filosofía medieval y renacentista habían sido descartados.

Dos sistemas filosóficos –el de Aristóteles y el de Kant- cuya aportación a la configuración del pensamiento occidental es innegable y continúa dando fruto en el debate -siempre abierto- de la pregunta por el hombre y su relación con el mundo. Y no creemos aventurarnos a errar al afirmar que la evolución de la concepción aristotélica a la concepción kantiana del tiempo no dibuja una línea recta en progresión sino que describe, más bien, una parábola cuyo vértice podemos situar en el tiempo absoluto de Newton, paradigma del que Kant se alejará para retomar algunos aspectos fundamentales propios del pensamiento aristotélico que se manifiestan en su concepto de tiempo.

---

<sup>273</sup> DELEUZE, G. *Kant y el tiempo*, Buenos Aires: Cactus, 2008, p. 79.

Ligado a las cosas pero también al alma humana, en Aristóteles, ubicado absolutamente en el sujeto, en Kant, el tiempo, sin embargo, es para ambos, algo subsidiario, que carece de entidad por sí mismo. Un accidente, un predicado, en el primer caso, una forma y condición para el segundo. El tiempo no es una *cosa*, no es substancia.

Del tiempo como *número del movimiento según lo anterior y posterior* y del tiempo como *forma a priori* se desprende una idea de tiempo vinculado, en mayor o menor grado, al alma humana. Y esta vinculación está completamente remitida al alma humana en su actividad de asomarse al mundo y a sí misma, esto es, al acto de la experiencia. Una experiencia que, por su carácter de sensible, somete aquello que conoce a su condición, a su forma de conocer: el alma numera el movimiento según lo anterior y posterior y esto es el tiempo. Si para Aristóteles el tiempo es subsidiario de las cosas, en tanto que es algo del movimiento y no podría ser sin ellas, también es cierto que no pertenece a las cosas mismas sino en tanto que su movimiento es numerable.

Y es aquí donde aparece el alma humana como condición necesaria para postular la existencia del tiempo. El sujeto, cuya intuición siempre es sensible, conoce el fenómeno -afirma Kant- siempre sometido a la condición del tiempo, porque es así como el sujeto conoce. El tiempo pertenece, tanto en Aristóteles como en Kant, a un acto de experiencia, de conocimiento, del alma humana. Si bien no podemos afirmar nada del modo de ser de las cosas mismas -dice Kant- sí podemos hacerlo en cuanto al modo de ser de su aparecer. Y en este aparecer el sujeto es condicionante absoluto, precisamente a través del *tiempo* como forma pura a priori de toda intuición.

El tiempo no es, pues, algo subsistente. El tiempo no es nada si no es número. El tiempo no es nada si no hay experiencia. El alma humana incorpora el tiempo al mundo cuando conoce el mundo.

## **SEGUNDA PARTE**

### **EL CONCEPTO DE TIEMPO EN LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD**



En esta segunda parte de nuestra investigación daremos un golpe de timón para virar nuestro trayecto en pos de la comprensión del concepto de tiempo adentrándonos, ahora, en el dominio de la física contemporánea, aunque intentando no abandonar la perspectiva conceptual que nos hemos marcado. Más concretamente, centraremos nuestra atención en la teoría de la relatividad con el fin de profundizar en la noción de *espacio-tiempo* relativista.

Para ello acudiremos directamente a los textos del artífice de la teoría de la relatividad: los escritos del propio Albert Einstein, quien no desperdició oportunidades para dar a conocer y facilitar la comprensión de su teoría. También prestaremos atención a lo que han expresado al respecto otros físicos que tuvieron un papel fundamental en su aparición, como Ernst Mach, Hermann Minkowski, Albert A. Michelson y Edward W. Morley. En lo que respecta a la comprensión de los aspectos más propiamente científicos de la teoría de la relatividad nos han ayudado los textos de autores como Herbert Sommer, Vladimir Kourganoff, David Blanco Laserna, Barry Parker y Mario Castagnino; en ocasiones hemos recurrido a figuras gráficas para ilustrar el discurso, todas ellas extraídas de la obra *Tiempo y Universo. Una visión filosófica y científica*, de Mario Castagnino y Juan José Sanguinetti, -excepto las figuras 4 y 5 que han sido obtenidas en sendos sitios de la red-. Otros autores como los ya familiares Milic Capek, Bas C. van Fraassen, o Juan José Sanguinetti, han iluminado con sus reflexiones filosóficas este trabajo dedicado al escrutinio del concepto de tiempo de la física contemporánea en clave aristotélica.

Para exponer las ideas fundamentales de la teoría de la relatividad especial y general hemos creído conveniente hacer una revisión de carácter diacrónico en combinación con un análisis sincrónico de los aspectos más relevantes para nuestro objetivo. Así, pues, veremos en primer lugar en qué condiciones se produce su gestación, indagaremos después cuáles son los principios básicos, de la teoría de la relatividad especial, primero y de la teoría de la relatividad general, después, para destacar las implicaciones que han tenido ambas en la conceptualización contemporánea del mundo físico. Por último, nos acercaremos a las ideas aportadas por Henri Bergson en su crítica al concepto de tiempo de la relatividad especial y que han tenido una considerable influencia en el pensamiento contemporáneo posterior.



## CAPÍTULO 4

### LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL

#### 4.1 El contexto pre-relativista

##### 4.1.1 El declive del reinado de la física clásica

Uno de los principales hornos donde se cuece la teoría de la relatividad es el estudio de los fenómenos ópticos. A la pregunta sobre la naturaleza de la luz Newton había respondido con su *teoría de la emisión* según la cual la luz está constituida por partículas que se mueven en el aire. Pero frente a esta teoría - dominante durante el siglo XVIII- irá cobrando fuerza la teoría alternativa elaborada por Christiaan Huygens (1629-1695) que explicaba los fenómenos ópticos mediante la propagación de ondas.

A principios del siglo XIX se creía que el universo estaba compuesto de partículas dotadas de fuerzas que actuaban entre sí a distancia a través de un espacio euclidiano y que -a excepción de la luz y el calor- obedecían a las leyes de atracción y repulsión newtonianas. Partículas que podían ser de varias clases: la materia ponderable, cuya fuerza fundamental se atribuía a los distintos pesos de los átomos; los corpúsculos de luz, que salían disparados de los cuerpos luminosos como proyectiles, rebotando en las superficies reflectantes y siendo absorbidos por los medios transparentes; las partículas de calor, cuya repulsión mutua daba lugar a la dilatación de los cuerpos; las partículas eléctricas positivas y negativas y las partículas magnéticas. Utilizando las propias palabras, no carentes de sarcasmo, de Albert Einstein, en un escenario tal se podría pensar que “Dios creó las leyes del movimiento newtonianas junto con las necesarias masas y fuerzas. Esto es todo.” En definitiva, las masas y su interacción como conceptos originarios o el triunfo de la concepción cinético-corpúscular de la materia. Y, en este sentido, afirma Albert Einstein en sus *Notas autobiográficas* redactadas en el año 1948:

No debe sorprendernos, pues, que –digámoslo así- todos los físicos del siglo pasado viesan en la mecánica clásica un fundamento firme y definitivo de toda la física e incluso de toda la ciencia natural, como tampoco debe extrañarnos que aquéllos no cesaran en su empeño de basar la teoría de Maxwell del electromagnetismo (que entre

tanto empezaba ya a triunfar poco a poco) sobre la mecánica también. Incluso Maxwell y H. Hertz, que retrospectivamente aparecen como aquellos que demolieron la fe en la mecánica como base última de todo el pensamiento científico, se adhirieron por completo en su pensamiento consciente a la idea de la mecánica como base firme de la física.<sup>274</sup>

Sin embargo –afirma Einstein– James Clerk Maxwell (1831-1879) y Michael Faraday (1791-1867) mostraron que existen fenómenos electromagnéticos que, debido a su naturaleza, están desligados de la materia ponderable; se trataba de ondas en el espacio vacío consistentes en campos electromagnéticos. Y estos fenómenos no se dejaban explicar mediante el recurso a los principios de la mecánica clásica. Así, la teoría electromagnética de la luz creada por Maxwell, según la cual las ondas luminosas son ondas electromagnéticas que se desplazan a la velocidad de la luz, dio el golpe de gracia al imperio de la mecánica clásica. Desde entonces se puede hablar de dos clases conceptuales de entidades: por un lado los puntos materiales con fuerzas a distancia y, por otro lado, los campos continuos, que vienen a representar en la física algo así como un estado intermedio.

A finales del siglo XIX ya han sido suprimidas la mayor parte de aquellas partículas elementales, a excepción de la materia ponderable. En primer lugar, los corpúsculos de luz, como consecuencia de la teoría ondulatoria cuyo éxito provocó el resurgimiento del éter<sup>275</sup> como medio sutil que, aunque en el siglo XVIII había sido desplazado del centro de la especulación física, ahora, al ser considerada la luz una onda, se hacía necesaria la su postulación como un sustrato material susceptible de ondulación, de modo que, de acuerdo con esta teoría, las ondas luminosas viajaban como una perturbación del éter de manera análoga a lo que se observa en las ondas del agua. Luego el calor pasó a ser explicado mediante la vibración del mismo éter y, más tarde, ocurriría lo propio con la electricidad y el magnetismo, que serían entendidos como contracciones y desplazamientos de un éter que se consideraba omnipresente. Los científicos Young y Fresnel habían señalado que

la luz presenta ciertos fenómenos (llamados interferencia y difracción) compatibles tan sólo con las ondas. Y, naturalmente, si la luz era una onda, se necesitaba un medio que la propagara. Para ver la razón de esto, supongamos que lanzamos una piedra a un estanque; se originará una onda expansiva a partir del punto en que la piedra incidió en el agua. No obstante, si en ese punto no hubiera agua, tampoco habría

---

<sup>274</sup> EINSTEIN, A. *Notas autobiográficas*, En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. Barcelona: Ediciones Altaya S.A., 1993, p. 99.



onda. Es obvio que se necesita un medio que propague la onda; en este caso, el medio es el agua.<sup>276</sup>

Pero puesto que, en el caso de la luz no había ningún medio visible, se postuló la existencia del éter que ocupaba todo el universo y cuyas propiedades –como la transparencia o la ausencia de reacción a la gravedad- dificultaban su detección. Pero, además, el éter se erigía en el marco de referencia para la totalidad del universo y, por lo tanto, podía ser utilizado para determinar la velocidad absoluta de la Tierra respecto al espacio absoluto. Sin embargo, como afirma Einstein, las investigaciones realizadas en el campo de la electrodinámica demostraron que

Existen fenómenos electromagnéticos que por su misma naturaleza están desligados de cualquier materia ponderable, a saber, las ondas en el espacio vacío consistentes en “campos” electromagnéticos. Si se quería mantener la mecánica como fundamento de la física había que interpretar las leyes de Maxwell desde un punto de vista mecánico. Este intento se emprendió tan denodada como infructuosamente, mientras que las ecuaciones estaban demostrando ser fecundas en medida creciente.<sup>277</sup>

#### 4.1.2 La aparición del concepto de campo

El descubrimiento de que toda corriente eléctrica crea un campo magnético indujo a los científicos a preguntarse si ocurría el fenómeno inverso: que la variación de un campo magnético generara un campo eléctrico. Faraday realizaría el experimento decisivo que dio la respuesta afirmativa a esta cuestión, y fue en el contexto de esta investigación en el que introdujo en la ciencia un concepto nuevo hasta entonces. Un concepto que vendría a revolucionar el imaginario propio del conocimiento científico: la idea de *campo*. Idea radicalmente contrapuesta a la noción newtoniana de *fuerza que actúa a distancia*.<sup>278</sup>

---

<sup>275</sup> El término deriva del griego *aether*, el aire tenue que respiraban los dioses del Olimpo y que no se debe confundir con el compuesto químico llamado *éter*.

<sup>276</sup> PARKER, B. *El sueño de Einstein*. Madrid: Ediciones Cátedra, 1990, p. 28.

<sup>277</sup> EINSTEIN, A. *Notas autobiográficas*, En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. *op. cit.* p. 100.

<sup>278</sup> A toda corriente le acompaña un campo magnético –es decir, la acción de una fuerza-, y a todo campo magnético se asocia un campo eléctrico que es variable en el tiempo. Mientras una carga eléctrica está en reposo sólo hay un campo electrostático pero en cuanto comienza a moverse aparece un campo magnético cuya intensidad es proporcional a la velocidad de su desplazamiento. Del mismo modo, toda variación de un campo magnético va acompañada de un campo eléctrico.

Faraday se sentía perplejo realmente acerca de la naturaleza de las líneas de fuerza eléctricas y magnéticas ¿Qué eran exactamente? Los matemáticos opinaban que esta fuerza era similar a la que se manifestaba en el campo gravitatorio –una especie de fuerza que actuaba a distancia. Pero a Faraday no le satisfacía esta explicación e introdujo la idea de “campo”.<sup>279</sup>

El concepto de *campo* aparece con el objeto de representar las fuerzas magnética y eléctrica, mediante un trazado de líneas, que sería más intenso cuanto más juntas se encontrasen dichas líneas. Pero el campo, para Faraday, no era únicamente una noción que permitía la representación de una fuerza sino que se trataba de algo dotado de realidad física. Posteriormente Maxwell –que formulara matemáticamente los campos electromagnéticos- afirmó en su *Tratado sobre electricidad y magnetismo*:

Faraday imaginaba líneas de fuerza que atravesaban todo el espacio allí donde los matemáticos veían centros de fuerza que atraían a distancia: Faraday buscaba el origen del fenómeno en una acción real que se propagaba a través del medio, mientras que los matemáticos se conformaban con haberlo encontrado en una fuerza que actuaba a distancia y se encontraba aprisionada en el fluido eléctrico.<sup>280</sup>

Maxwell, dando un paso más, se percató de que este nuevo concepto presentaba, además de una gran capacidad de ser gráficamente representado así como de ser expresado matemáticamente y comenzó a trabajar en esta dirección profundizando, en un primer momento, en la analogía entre las *líneas de campo* y el concepto de *flujo* propio de la dinámica de fluidos -o hidrodinámica- lo que daría lugar a un primer trabajo titulado *Sobre las leyes de fuerza de Faraday*, y a un segundo trabajo titulado *Sobre las líneas físicas de fuerza*. De esta investigación surgió la formulación de las ecuaciones que unificarían electricidad y magnetismo y que, todavía hoy, son la base de la explicación de todos los fenómenos de naturaleza electromagnética. Ecuaciones que definían las ondas y describían su comportamiento en base a la combinación de ambos campos: las ondas abandonaban la fuente de emisión y se desplazaban por el espacio iniciando una existencia independiente. Más tarde ideó varios experimentos con el fin de determinar la velocidad de propagación de dichas ondas cuyo resultado reveló que las ondas electromagnéticas viajaban a la misma velocidad que las ondas luminosas. Este resultado, lejos de constituir una curiosa coincidencia, llevó a Maxwell a postular la naturaleza electromagnética de la luz.

---

<sup>279</sup> PARKER, B. *El sueño de Einstein. op. cit.* p. 70.

<sup>280</sup> Citado en PARKER, B. *op. cit.* pp. 74-75.

La luz era, por tanto, una onda electromagnética y, con ello, se conseguía la segunda gran unificación tras la de los campos eléctrico y magnético: la de los fenómenos electromagnéticos y los fenómenos ópticos, cuya diferencia fundamental radica en su longitud de onda –muy grande para las ondas electromagnéticas comunes y muy pequeña para las ondas luminosas–.

Con la aparición de la noción de campo electromagnético cambiarán algunos aspectos del concepto físico de tiempo ya que uno de los principios básicos de la teoría de campos es que toda acción se transmite en el tiempo, lo que hace imposible que se den acciones a distancia instantáneas. Las ecuaciones de Maxwell describen la variación temporal del campo eléctrico en función de la variación espacial del campo magnético y, viceversa, la variación temporal del campo magnético en función de la variación espacial del campo eléctrico. Estas ecuaciones permiten calcular la forma de las ondas que constituyen el campo y la velocidad de su propagación. La constatación de que la acción magnética es progresiva y que, por lo tanto, esta progresión requiere tiempo –lo que significa que se produce en un intervalo finito de tiempo– llevará más tarde a poner en cuestión la interpretación de la gravedad como aquella acción a distancia instantánea que Newton había imaginado.

La fuerza entre dos cuerpos, según la ley de Newton, depende tan sólo de la distancia; el tiempo no interviene en su formulación. ¡La fuerza tiene, pues, que pasar instantáneamente de un cuerpo a otro! Pero [...] un movimiento con velocidad infinita no tiene significado para ninguna persona razonable.<sup>281</sup>

El concepto de velocidad infinita, como ya habíamos señalado en el capítulo dedicado a la física clásica, tiene un carácter intrínsecamente contradictorio. Además, como recuerda Einstein, se había constatado que dos partículas se atraen mutuamente con una fuerza cuya intensidad decrece con el cuadrado de la distancia que las separa.<sup>282</sup> Como señala Capek, el hecho de que en el paradigma newtoniano no hubiera límite máximo para la velocidad creciente de un cuerpo material estaba relacionado con la indiferencia física del espacio y el tiempo absolutos a los cambios físicos que se producían en ellos. Pasividad del espacio y del tiempo que, también, tiene que ver con la afirmación de la constancia y la rigidez de la materia. Este panorama quedaba reflejado en la inseparabilidad de la

---

<sup>281</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento*. Buenos Aires: Editorial Losada S.A., 1939, p. 113.

<sup>282</sup> EINSTEIN, A. *op. cit.* p. 111.

cinemática -que estudia el movimiento prescindiendo de las fuerzas que lo producen- y la dinámica -que, por el contrario, estudia el movimiento precisamente en relación con las fuerzas que lo producen- que se daba en el paradigma newtoniano.

La teoría de la relatividad especial negará dicha constancia pero, previamente, ya la pre-relativista teoría electromagnética de la materia preparó el terreno en esta dirección al entender que la masa del electrón era sólo aparente, debiéndose exclusivamente a la reacción del medio circundante o éter electromagnético. Como afirma Capek, “un electrón que alcanzase o superase la velocidad de la luz sería una contradicción física, porque rompería su conexión con el campo de que, por decirlo así, es producto”.<sup>283</sup> Así, cuando un electrón es puesto en movimiento se crea un campo magnético perpendicular a su trayectoria y, con ello, se produce un aumento de su masa.<sup>284</sup> Los electrones pierden así la solidez corpuscular pudiendo, incluso, ser creados y destruidos. Un electrón ahora consiste en una *singularidad* localizada en el centro de un campo de fuerzas en el que se concentra la energía electromagnética con mayor intensidad. Y “éste era un aspecto de la teoría que desagradaba a Einstein profundamente. No creía en las singularidades de los campos e intuía que, a la postre, nos liberaríamos de ellas”.<sup>285</sup> La naturaleza o esencia del concepto de materia ha cambiado de forma radical.

El concepto de campo no sólo permite representar las fuerzas sino que también describe los fenómenos electromagnéticos y facilitó en gran medida el avance en la investigación de los fenómenos electromagnéticos. Hasta el punto que, de ser un concepto instrumental ha pasado a denotar directamente la estructura de la misma realidad.

Este concepto resultó, pues, de gran utilidad. Nació como algo situado entre la fuente y la aguja magnética al tratar de describir la fuerza actuante. Se creyó que era un “agente” de corriente, a través del cual transmitía ésta su acción. Pero ahora resulta que el agente actúa como un intérprete, que traduce las leyes a un lenguaje claro y sencillo, fácilmente comprensible. [...] Tratemos de desarrollar esta nueva idea de un modo consecuente.<sup>286</sup>

---

<sup>283</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 255.

<sup>284</sup> La resistencia inercial a la aceleración -que Newton consideraba inherente a las propias partículas- parecía deberse ahora al efecto frenador del medio electromagnético circundante.

<sup>285</sup> PARKER, B. *El sueño de Einstein. op. cit.* p. 79.

<sup>286</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento. op. cit.* p. 119.

Con las ecuaciones de Maxwell, la teoría electromagnética constituye la descripción cuantitativa de las leyes que rigen el campo electromagnético representando su estructura. Estas ecuaciones difieren en forma y en fondo de las leyes de la mecánica clásica. Una importante novedad que traen es que, contrariamente a las leyes del movimiento, su validez se extiende a la totalidad del espacio y no únicamente a los lugares donde se localiza materia o carga eléctrica o magnética. Por otra parte, mientras que en la mecánica clásica se puede calcular la trayectoria de una partícula conociendo su posición y velocidad en un instante dado, con las ecuaciones de Maxwell, a partir de las condiciones de un campo en un instante dado podemos predecir la evolución de todo el campo. Así, pues, las ecuaciones de Maxwell,

No relacionan, como las leyes de Newton, dos sucesos distantes; no reconocen la “acción a distancia”. El campo “aquí” y “ahora” depende del campo inmediatamente vecino existente en un instante anterior. Las ecuaciones permiten predecir lo que pasará un poco más allá de un cierto lugar en el espacio, un instante después, si conocemos lo que pasa “ahora” y “aquí”.<sup>287</sup>

Se trata de un proceso gradual que relaciona los sucesos en una relación de continuidad espacio-temporal. Las ecuaciones de Maxwell describían, pues, una *onda electromagnética*, lo que significa que la energía que irradia una carga eléctrica en movimiento viaja por el espacio con una velocidad finita. Pero, a diferencia del resto de fenómenos ondulatorios, cuya característica esencial consiste en el desplazamiento del *estado* de un medio, la onda electromagnética parece desplazarse en el vacío, es decir, si la carga oscilante se detiene repentinamente, entonces su campo deja de ser electromagnético y se hace electrostático pero las ondas que fueron generadas por la oscilación continúa su camino: las ondas tienen una existencia independiente de la fuente que las emite.

El campo no existió para el físico de principios del siglo XIX. Para él, tan sólo la sustancia y sus cambios eran lo real. [...] El concepto de campo fue, en un principio, sólo un medio para facilitar la explicación de los fenómenos eléctricos desde un punto de vista mecánico. En el nuevo lenguaje del campo, su descripción entre las cargas y no las cargas mismas, es lo esencial para comprender la acción de las últimas.<sup>288</sup>

Desde el advenimiento de la teoría electromagnética, la descripción de cualquier interacción entre partículas o cuerpos materiales se puede efectuar de dos maneras

---

<sup>287</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento*. *op.cit.* p. 130.

<sup>288</sup> EINSTEIN, A. *op.cit.* p. 134.

bien distintas: o bien mediante el concepto de acción a distancia que implica, como su nombre indica, la interacción de una partícula sobre otra sin intervención directa del medio en el que se encuentran, o bien, mediante la perturbación de las propiedades del medio donde se encuentran dichas partículas. En esta última descripción, en que se inscribe la teoría de campos, se supone que una de las partículas produce la perturbación del medio, perturbación que se traduce en una acción sobre otras partículas o cuerpos que se encuentran en la zona perturbada. Ambos tipos de descripción son indistinguibles en situaciones estáticas o en reposo. Sin embargo, en situaciones dinámicas resulta más adecuada, tanto desde el punto de vista físico como del matemático, el concepto de campo para caracterizar la perturbación de las propiedades del medio.

En este nuevo escenario conceptual la gravitación se explica en los siguientes términos: la masa origina en torno suyo un campo gravitatorio que actúa sobre los cuerpos presentes en él atrayéndolos hacia su centro –lo que se manifiesta como un movimiento de caída-. A medida que nos alejamos de la masa originadora del campo la intensidad de esta fuerza disminuye siguiendo una ley perfectamente determinada. Cabe imaginar, pues, que un cuerpo genera directamente dicho campo en su entorno inmediato. Como explica Herbert Sommer:

La emisión de fuerza que parte de una masa es continua. Debido a ello, por un punto situado a cualquier distancia del de emisión no pasa una sola onda, sino toda una sucesión ininterrumpida de ellas. En dicho punto, la fuerza no actúa, pues, como un impulso aislado de breve duración sino como un *flujo continuo*, cuya intensidad es tanto menor cuanto mayor sea su distancia al origen. Así, pues, en cada lugar del espacio la fuerza tendrá un valor que dependerá de la situación con respecto al origen de emisión. Esta distribución de una magnitud, según la cual a cada punto del espacio le corresponde un determinado valor de la misma, se llama *campo*. Alrededor de toda masa se establece, pues, un *campo de fuerza*.<sup>289</sup>

Podemos decir que en una determinada región del espacio tenemos un campo físico cuando en ella se observan propiedades físicas, que pueden ser propiedades escalares –cuando quedan perfectamente definidas por un número- como el tiempo, la energía, la distancia, la masa o la presión, o vectoriales –cuando además dependen de una dirección y un sentido para su definición- como lo son la velocidad, la aceleración o la fuerza. Se dice que en una cierta región del espacio

---

<sup>289</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional*. Barcelona: Editorial Herder, 1979, pp. 101-102.

hay un campo de fuerzas cuando en todo punto de la misma hay una fuerza que toma un valor diferente para cada punto y en cada instante de tiempo.

Un campo de fuerza es, pues, aquella región del espacio en la que se manifiesta la fuerza y, para poner de manifiesto dicha fuerza hay que situar en el punto correspondiente un agente sensible –o *testigo*- de naturaleza adecuada a esa fuerza. Es decir, si las fuerzas son de naturaleza eléctrica el agente será una carga en reposo o el movimiento, si son gravitatorias el agente será una partícula con cierta masa, etc. Por lo tanto la cantidad de la fuerza depende no sólo de la distancia que separa al centro de fuerza del punto del espacio considerado sino también del valor del *testigo* utilizado para su detección.

Este tipo de visualización de los campos de fuerza tiene un alto nivel de abstracción pero precisamente la identificación de un campo con una función matemática de posición y de tiempo permite obtener una imagen del campo asociando vectores a diversos puntos del espacio, de forma que cada uno de ellos indique la intensidad, dirección y sentido de ese punto.

Si bien al principio se consideraba que el *campo* era un concepto auxiliar y provisional que en un futuro más o menos lejano podría ser reducido a los términos de la mecánica clásica lo cierto es que este sueño nunca se cumplió. En su lugar, el campo vendría a sustituir el lugar que había ostentado la substancia. Como sentenciaba Einstein,

Una nueva realidad fue creada, un concepto nuevo para el cual no había lugar en la descripción mecánica. Lentamente, y a través de una verdadera lucha, el concepto de campo alcanzó una significación directora en la Física y ha continuado siendo uno de los conceptos básicos de la misma. El campo electromagnético es para el físico moderno tan real como la silla sobre la cual se sienta.<sup>290</sup>

#### 4.1.3 *El experimento Michelson-Morley*

Cuando, finalmente, se impuso la teoría ondulatoria de la propagación de la luz que había defendido Huygens frente a la teoría de la emisión de partículas que había propuesto Newton, la comunidad científica consideró necesario postular la

---

<sup>290</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento. op. cit.* p. 134.

existencia de un medio que, llenando el espacio y penetrándolo todo, debería ser el portador de las ondas luminosas: el éter, que se suponía en reposo con respecto al espacio absoluto. Pero la postulación del éter disgustaba a los físicos debido a que no se encontraba la forma de demostrar su existencia real.

Este encubramiento del éter hasta una posición de primacía dentro de la física creó cierto malestar, que fue a peor con el tiempo. La mayor parte de los físicos sabía perfectamente, quizá de un modo instintivo, que era el mundo real con lo que tenía que ver su ciencia. Sin embargo, el éter en sí jamás había sido aislado, pesado, oído, visto ni degustado, y no precisamente por falta de ingeniosos intentos en este sentido. Y aunque se tratara de un “espíritu sutilísimo”, como Newton lo describiera, no podía ser que todo un ejército formado por físicos también sutilísimos fuese incapaz de idear algún medio para detectarlo.<sup>291</sup>

El descubrimiento en 1725 del fenómeno de la *aberración de la luz*<sup>292</sup> por parte del astrónomo inglés James Bradley (1693-1762) sugería, en el marco de la teoría ondulatoria, que el éter se encontraba en reposo absoluto y, según esto, la Tierra, en su movimiento de traslación alrededor del Sol a través del éter debería crear algo así como un *viento del éter* cuya detección proporcionaría la constatación del carácter absoluto del espacio y, de paso, la posibilidad de determinar el movimiento absoluto de la Tierra con respecto al éter.

La hipótesis, que se estaba afianzando, de que la velocidad de propagación de la luz tiene un valor constante  $c$  –independientemente de la velocidad de la fuente que la ha emitido- junto al hecho de que la velocidad del movimiento de traslación de la Tierra varía en las distintas épocas del año -en función del área que barre de la órbita elíptica que describe alrededor del Sol-, debería permitir poner de manifiesto experimentalmente el movimiento absoluto de la Tierra al poderse detectar la variación de la velocidad relativa de la luz con respecto al movimiento de ésta.

Para ello, Michelson y Morley realizaron en 1887 un experimento que básicamente consistía en la proyección de una señal luminosa en la misma dirección que sigue la Tierra en su trayectoria alrededor del Sol. Así plantearon la cuestión en la publicación de los resultados de su experimento:

---

<sup>291</sup> WILLIAMS, L.P. *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad. op. cit.* p. 11.

<sup>292</sup> El fenómeno de la aberración de la luz consiste en la diferencia entre la posición real de una estrella y la posición en que ésta se observa debido a la combinación de dos velocidades -la velocidad a la que se desplaza el observador y la velocidad de la luz-.



Al descubrimiento de la aberración de la luz siguió bien pronto una explicación acorde con la teoría de la emisión. El efecto fue atribuido a una simple composición de la velocidad de la luz con la velocidad orbital de la tierra. Las dificultades de esta explicación (en apariencia suficiente) pasaron inadvertidas hasta que se propuso una segunda, basada en la teoría ondulatoria de la luz. En principio, esta nueva explicación era casi tan simple como la anterior, pero pasaba por alto un hecho comprobado experimentalmente: a saber, que la aberración permanecía inmutable cuando las observaciones se hacían a través de un telescopio lleno de agua.<sup>293</sup>

Como se suponía que el éter propagaba la luz y la Tierra se trasladaba a una velocidad variable y finita ésta debería aproximarse a la señal luminosa que, por esta causa, se alejaría de nosotros a menor velocidad de la que lo haría si estuviésemos en reposo con respecto a ella. El experimento permitiría medir la velocidad de la luz en diferentes direcciones. Si el éter existía y se encontraba en reposo absoluto, la velocidad de la luz en la superficie terrestre no debería ser la misma según que se propague en la misma dirección y sentido del movimiento de la Tierra o en el sentido contrario.

Pero los resultados del experimento mostraron que, contra todo pronóstico, la Tierra no se estaba aproximando ni alejando de la señal luminosa pues la velocidad relativa de la luz respecto a la Tierra permanecía idéntica en todas direcciones, independientemente de la velocidad y el sentido con respecto a los cuales se midiera. Se repitió el experimento en diferentes épocas y en todas las ocasiones, cualquiera que fuera la dirección en la que se movía el detector debido a sus variadas posiciones, la velocidad relativa de la luz era siempre la misma, lo que venía a confirmar que la velocidad *observada* de la luz no depende de la velocidad del movimiento del observador. Las investigaciones realizadas por Maxwell y Faraday sobre el electromagnetismo ya habían conseguido poner de manifiesto que la velocidad de la luz en el vacío es constante, es decir, que tiene el mismo valor independientemente del sistema de referencia en el que se observe. Ello se mostraba en abierta contradicción con los postulados de la mecánica clásica que afirman que dos sistemas referenciales distintos –en movimiento relativo mutuo uniforme– nunca pueden medir la misma velocidad constante. Sin embargo, la señal luminosa nunca podría ser alcanzada: la luz siempre y en cualquier circunstancia

---

<sup>293</sup> MICHELSON, A. A.; MORLEY, E. W. *Sobre el movimiento relativo de la tierra y el éter luminífero*, En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. pp. 34-35.

víajaría aproximadamente 300.000 Km/seg más rápido que nosotros.<sup>294</sup> Se diría, pues, que la *velocidad relativa* de la luz es *absoluta*.

Los resultados de este experimento mostraban también, por lo tanto, que el éter, en caso de existir, en lugar de estar en reposo acompañaba a la Tierra en su movimiento, mientras que la aberración de la luz parecía afirmar todo lo contrario, de modo que “la ciencia física en su totalidad se basaba en una entidad teórica que gozaba de la propiedad paradójica de hallarse al mismo tiempo en movimiento y en reposo”.<sup>295</sup>

Para explicar este fenómeno conservando la hipótesis del éter, George Francis Fitzgerald (1851-1901) propuso que se debía a la contracción que -a causa del movimiento- se producía en uno de los brazos del aparato -el que se encontraba en posición paralela a la dirección del movimiento de la Tierra- lo que vendría a compensar la diferencia de velocidades relativas con respecto a la luz. Aunque esta hipótesis de la *contracción longitudinal* de los cuerpos -en un factor que depende de su velocidad absoluta- era una hipótesis *ad hoc*, más tarde Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) explicaría este fenómeno en base a su teoría del electrón la estructura atómica. La hipótesis implicaba, pues, que todo instrumento de medición de longitudes se encontraba alterado por su contracción longitudinal a lo largo de la dirección de su movimiento absoluto. “El mundo de la ciencia se esforzó durante años por intentar comprender el enigmático resultado. H.A. Lorentz, en Alemania, y Fitzgerald, en Irlanda, elaboraron, de forma independiente, atinadas fórmulas, pero éstas no explicaban el fenómeno”.<sup>296</sup>

Sin embargo, ninguna de estas explicaciones parecía resolver satisfactoriamente el problema planteado por el desconcertante fenómeno de la constancia de la velocidad de la luz. Sería Albert Einstein quien, en 1905, publicaría un artículo que resolvería la cuestión con una teoría cuya gran belleza residía, precisamente, en su sorprendente simplicidad: la teoría de la relatividad.

---

<sup>294</sup> La velocidad de la luz fue determinada en el siglo XIX por los físicos Armand Hippolyte Fizeau (1819-1896) y Léon Foucault (1819-1868) en un valor de 299.792.458 m/seg, o, lo que es lo mismo, 9,46·10<sup>15</sup> m/año, valor éste último utilizado para definir la medida de distancia astronómica conocida como *año luz*. También denominada *constante de Einstein*, se denota con la letra *c* (del latín *celéritās*). El 21 de octubre de 1983 fue incluida oficialmente en el Sistema Internacional de Unidades como constante universal, con lo que el *metro* pasaba así a ser una unidad de medida dada en función de esta constante.

<sup>295</sup> WILLIAMS, L.P. *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad. op. cit.* p. 12.

<sup>296</sup> PARKER, B. *El sueño de Einstein. op. cit.* p. 29.

En cualquier caso, los experimentos de Michelson y Morley confirmaron la teoría de Maxwell y llevaron al abandono de la creencia en la existencia del éter -que se suponía era el medio en el que se propagaban las ondas electromagnéticas y la luz- y, con ello, a la pérdida de un sistema de referencia absoluto. A partir de entonces se aceptaba que un observador situado en un sistema en movimiento relativo uniforme con respecto a otro sistema no podía distinguir si se encontraba en movimiento o en reposo respecto al mismo, no ya en lo que se refiere a las leyes de la mecánica –como ya había mostrado Galileo y como veremos a continuación- sino incluso en lo referente a los fenómenos electromagnéticos.

#### 4.1.4 El principio de relatividad de Galileo

Uno de los pilares de la mecánica clásica es el *principio de relatividad* enunciado por Galileo por el cual se establece que todos los sistemas inerciales son equivalentes a la hora de describir el movimiento. Llamamos *sistema inercial* en términos galileanos al sistema en el que se verifica la *ley de inercia*, según la cual los cuerpos permanecen en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme mientras no son sometidos a ninguna fuerza. Como consecuencia de ello, el principio de relatividad de la física clásica afirma, por lo tanto, que el movimiento rectilíneo y uniforme no puede ser detectado mediante ninguna experiencia a nivel local.

Galileo se percató de que el reposo y el movimiento únicamente son observables si es en relación a una referencia. Sólo puede observarse y medirse un cambio de posición con respecto a algo. Éste es el principio de relatividad clásica, que se limitaba a sistemas en movimiento rectilíneo y uniforme. Galileo basó, pues, el principio de relatividad en el principio de inercia -que también lleva su firma- y en la suposición de que la inercia de un cuerpo es siempre la misma a cualquier velocidad.

Es decir -aprovechando el célebre ejemplo que el mismo Galileo utilizó para explicar su idea-: una gota de agua en movimiento de caída en el interior de la bodega de un barco en movimiento de traslación uniforme, en lugar de retrasarse con respecto a éste, sigue cayendo en dirección vertical y en línea recta con respecto al suelo del navío aunque con respecto a un punto fijo exterior al barco –el puerto, por ejemplo- su trayectoria hacia el suelo describe una parábola ya que la gota avanza con el barco en su misma dirección a la vez que desciende. Esta *velocidad horizontal*

puede explicarse por la conservación del *impulso horizontal* que le confiere a la gota su vinculación con el navío antes de desprenderse del recipiente, impulso que, en base a esto, parece conservarse integralmente. Es lo que se conoce como *movimiento inercial*. Debido a su *inercia*, pues, la gota sigue también avanzando junto con el barco sin retrasarse y cae siempre en el mismo punto de cubierta, cualquiera que sea la velocidad del navío. La inercia de los cuerpos físicos hace inobservables el reposo y el movimiento absolutos. Éste es el principio de relatividad propuesto por primera vez por Galileo -también llamado *invariancia de Galileo*.

No pasa desapercibida aquí la gran importancia que supone este giro en la perspectiva: de atribuir únicamente al reposo “real” la ausencia de efectos de carácter mecánico y sensible que permitirían su detección y que parecía exigir el reposo “real” de la Tierra, a predicar lo mismo del movimiento relativo uniforme, lo que permitía considerar al planeta en movimiento con respecto al Sol, con las consecuencias que de ello se derivarían.

Este principio de invariancia o de relatividad de Galileo sería utilizado después por Henry Poincaré para explicar algunas peculiaridades de la propagación de la luz y finalmente, Einstein lo tomaría como uno de los pilares fundamentales en su teoría sobre el comportamiento electrodinámico de los cuerpos en movimiento, trabajo que, debido a ello, se popularizó con el nombre de *teoría de la relatividad*.

Según el *principio de inercia de Galileo* –que Newton recogerá en su segunda ley del movimiento, conocida como *ley de la inercia*- todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo a menos que actúen sobre él fuerzas exteriores que, en tal caso, lo modificarían. Por otra parte, el llamado *principio de relatividad de Galileo* afirma que si las leyes de la mecánica se cumplen en un sistema de coordenadas, entonces también se cumplen en cualquier otro sistema de coordenadas que se encuentre en movimiento uniforme con respecto al primero. En cuanto a los sistemas de coordenadas que se desplacen en movimiento relativo no uniforme no serán válidas las mismas leyes para ambos sistemas. Se conoce con el nombre de *sistemas inerciales* a los sistemas de coordenadas del primer tipo, es decir, aquellos para los que se cumplen las leyes de la mecánica clásica.

En este orden de cosas, para calcular las posiciones de dos puntos relativas a dos sistemas inerciales diferentes es necesario usar las *leyes de transformación de Galileo* –de adición o resta de velocidades y de longitudes- sin embargo, aunque las coordenadas espaciales y la velocidad cambian de valor al pasar de un sistema inercial a otro, magnitudes como la *fuerza* y la *variación de la velocidad* –o aceleración relativa- resultan invariantes. Y ocurre lo mismo con el *tiempo* que dura un suceso, que es el mismo en todos los sistemas de referencia inerciales, pues todos ellos se enmarcan dentro de un mismo tiempo absoluto. Por otra parte, como hizo notar Einstein, el principio de relatividad de Galileo no es válido para fenómenos que no se rigen por las leyes de la mecánica, como ocurre con los fenómenos electromagnéticos.

El principio de relatividad de Galileo, que es válido para los fenómenos mecánicos, afirma, pues, que las mismas leyes de la mecánica se aplican a todos los sistemas inerciales que se mueven los unos con relación a los otros. Ahora bien, ¿valdrá este principio para fenómenos no mecánicos, especialmente para aquellos en los cuales el concepto de campo resultó ser tan importante? Todos los problemas relativos a esta cuestión nos llevan de inmediato al punto inicial de la teoría de la relatividad.<sup>297</sup>

Las ondas del sonido se propagan en su medio, que es el aire. El aire que se encuentra dentro de un sistema inercial es arrastrado junto con dicho sistema por el movimiento del mismo y, por ello, si observamos desde un sistema externo la propagación de las ondas sonoras que se producen en un sistema que se encuentra en movimiento relativo a nuestro sistema, para nosotros la velocidad de la onda sonora no será la misma en la dirección del movimiento del sistema que en la dirección contraria, mientras que para el observador interno a dicho sistema en movimiento las ondas sonoras tienen la misma velocidad en todas direcciones. De este modo lo plantea Einstein:

El problema correspondiente para la luz, debe ser formulado algo distintamente. Los observadores de la cámara ya no están hablando, sino haciendo señales luminosas en todas direcciones. Supongamos además que las fuentes que emiten las ondas luminosas están en reposo permanente en el interior de la cámara. En este caso las ondas luminosas se mueven a través del éter de igual manera como las ondas sonoras se propagan en el aire.

¿Es arrastrado el éter, con la cámara, como lo era el aire?<sup>298</sup>

---

<sup>297</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento. op. cit.* p. 144.

<sup>298</sup> EINSTEIN, A. *op. cit.* p. 147.

En el caso del electromagnetismo, antes de la teoría de la relatividad se creía que las ondas electromagnéticas eran similares a las del sonido, que son vibraciones del aire, lo que, como hemos señalado, invitaba a postular el éter como fluido o medio sutil que se encontraría en reposo respecto al sistema absoluto e inmóvil del universo. Sus leyes –las leyes de Maxwell- eran válidas únicamente en este sistema constituido por el éter en reposo y de ello se deducía que la constancia de la velocidad de la luz en todas direcciones únicamente se podía dar en este sistema de referencia, pero no en ningún otro en movimiento relativo al mismo.

A diferencia de las ondas del sonido –que constituyen fenómenos mecánicos-, las ondas electromagnéticas –entre las que se encuentran las ondas luminosas- no se rigen por las leyes de la mecánica y, por lo tanto, no se les puede aplicar el principio de relatividad de Galileo. Tampoco se puede aplicar la transformación de Galileo a los fenómenos ópticos y electromagnéticos en general: su velocidad es siempre la misma, en todos los sistemas de referencia, independientemente de si la fuente se mueve o no y de cómo se mueva: la velocidad de la luz no depende del movimiento de la fuente emisora. Así como una cámara cerrada en movimiento arrastra consigo el aire que contiene y, por tanto, la velocidad de las ondas del sonido que se produce en su interior es afectada por la velocidad relativa con que se traslada la cámara, a las ondas luminosas y electromagnéticas no les ocurre esto. Su velocidad es siempre la misma con respecto a todo observador de cualquier sistema de coordenadas, independientemente de la velocidad con que se mueva el sistema porque la luz no se propaga mediante un medio, como lo hace el sonido.

Pues bien, aceptada la relatividad de Galileo, las posiciones y las velocidades se transforman de un sistema inercial a otro de acuerdo con la transformación clásica. Pero esta transformación está en clara contradicción con la constancia de la velocidad de la luz. La incompatibilidad entre ambos principios obliga a aceptar uno y desechar otro. Ante semejante disyuntiva la propuesta de Einstein es aceptar la constancia de la velocidad de la luz y rechazar las leyes clásicas de transformación:

No hay la menor duda sobre la claridad de este veredicto, aun cuando es obtenido por experiencias más bien indirectas, a causa de las graves dificultades técnicas causadas por la enorme velocidad de la luz. *La velocidad de la luz es, siempre, la misma en todos los SC, independientemente de si la fuente se mueve, o no, y de cómo se mueve.*<sup>299</sup>

---

<sup>299</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento. op. cit.* p. 148.

De este modo Einstein pone fin al éter como medio de afirmación de la existencia de un espacio absoluto a cuyo abismo arrastra con él:

Primero tuvo que ser descartada, por imposible, la concepción de una imagen mecánica sencilla del éter. Esto causó, en gran parte, la bancarrota del punto de vista mecánico. Hubo que abandonar la esperanza de descubrir un SC distinto a los demás, fijo en el mar de éter y con ello la posibilidad de existencia del movimiento absoluto. [...] Es decir, nada quedó de todas las propiedades del éter, excepto aquella para la cual fue inventado: la de transmitir las ondas electromagnéticas, y es más, las tentativas de descubrir las propiedades del éter condujeron a dificultades y contradicciones insalvables. Ante una experiencia tan amarga, parece preferible ignorar completamente el éter y tratar de no mencionar más su nombre. Con el objeto de omitir la palabra que hemos decidido evitar diremos: nuestro espacio tiene la propiedad física de transmitir las ondas electromagnéticas.<sup>300</sup>

#### 4.1.5 La transformación de Lorentz

Para intentar explicar los resultados del experimento de Michelson y Morley en clave de la contracción longitudinal propuesta por Fitzgerald, Lorentz sugirió unas nuevas fórmulas de transformación –en lugar de las de Galileo- que permitieran pasar de un sistema de referencia a otro y salvaguardaran la constancia de la velocidad relativa de la luz. Era una teoría sobre los efectos que el movimiento de un cuerpo produce en su forma y se trataba de un conjunto de ecuaciones que hacía compatible la constancia de la velocidad de la luz con el principio de relatividad de Galileo, pero que todavía suponían la existencia de un éter estacionario a través del cual viajarían objetos y observadores sufriendo un acortamiento físico a la vez que una dilatación del tiempo. En 1895 Lorentz publicaba una primera versión de sus transformaciones –en la obra titulada *Tentativa de una teoría de los fenómenos eléctricos y ópticos*- en la que los fenómenos electromagnéticos y los fenómenos ópticos son independientes del sistema inercial en movimiento en el que se dan.<sup>301</sup> Así como la física clásica utilizaba la transformación de Galileo -que se basaba en la adición de velocidades- para pasar de un sistema inercial a otro, en este nuevo escenario se utiliza la

---

<sup>300</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento. op. cit.* p. 153.

<sup>301</sup> Fue en este contexto en el que se gestó el concepto de *hora local*: eventos que serían simultáneos en un sistema de referencia en reposo tendrían unas coordenadas de tiempo diferentes en el sistema de referencia en movimiento. En lo referente a la masa, también se derivaba de las ecuaciones de transformación de Lorentz su variación en función de la velocidad de su movimiento.

transformación de Lorentz, con una nueva fórmula de composición de velocidades. La denominada *transformación de Lorentz* reconciliaba en parte la mecánica clásica con la teoría electromagnética.

En el contexto de la mecánica clásica podemos afirmar que, en virtud de la postulación del tiempo absoluto, dos observadores en movimiento rectilíneo y uniforme uno respecto al otro obtienen la misma medida de tiempo, y también que, en base a la afirmación del espacio absoluto, la medida de una longitud del espacio es independiente del movimiento del sistema referencial desde el que se efectúe dicha medición. Es decir, que la transformación de Galileo no varía el valor de la longitud del espacio y del tiempo al pasar de un sistema a otro: lo que varía es únicamente la posición de estos intervalos en el espacio. Sin embargo la transformación de Lorentz sí da valores distintos a las longitudes y las duraciones al pasar de un sistema de referencia a otro. Las ecuaciones de transformación de Lorentz permiten el paso de un sistema inercial de referencia a otro y señalan la ubicación espaciotemporal de un mismo suceso en cualquier sistema de referencia. A diferencia de las ecuaciones de transformación de Galileo las ecuaciones de Lorentz incluyen el parámetro  $c$  en su formulación con lo que la constancia de la velocidad relativa de propagación de la luz se mantiene en cualquier sistema de referencia independientemente, incluso, de la dirección que siga con respecto al movimiento de traslación del observador, en consonancia con lo empíricamente observable.

Las hipótesis de la contracción longitudinal y de la dilatación temporal implican juntas que las medidas realizadas por observadores diferentes, en movimiento relativo uniforme uno respecto al otro, darán siempre resultados diferentes. Las ecuaciones de transformación de Lorentz proporcionan la relación entre los resultados de ambas mediciones. Como explica Herbert Sommer, hoy sabemos que la contracción longitudinal de los cuerpos tiene que ver directamente con la constitución de la materia en términos de fuerzas y campos:

Alrededor de cada elemento material actúan campos de energía en los que, dentro de cierta distancia, predominan las fuerzas de rechazo; y, a partir de ahí, prevalecen las de atracción. El punto donde ambas se compensan define una posición de equilibrio, y, con ello, la distancia a la que se mantendrán de un modo estable los elementos de la estructura.

Pero, si los campos de fuerza y de energía potencial alrededor de cada uno de los elementos de un cuerpo en traslación son más débiles delante y detrás de los mismos,



todas las posiciones de equilibrio se *acercarán* entre sí en la dirección del movimiento, y la estructura se *acortará* en este sentido.<sup>302</sup>

Pero, si bien las mediciones de longitud y duración varían de un observador a otro, hay una magnitud que permanece invariante bajo la transformación de Lorentz: el *intervalo espacio-temporal* –que consiste en la distancia espacial y el intervalo temporal que separan a dos acontecimientos- que es independiente de la elección del sistema de referencia, y esta invariancia está relacionada con la constancia de la velocidad de la luz en cualquier sistema de referencia, hecho éste que, ahora, se desprende necesariamente de las ecuaciones de transformación de Lorentz.

Esta teoría de Lorentz y Fitzgerald –que constituye una primitiva interpretación de la relatividad, aún inscrita en el marco del paradigma newtoniano- considera que los intervalos temporales se dilatan realmente en los sistemas que se encuentran en movimiento mientras que en estado de reposo no experimentan ningún cambio en este sentido. En cuanto a la contracción de los cuerpos, implica que un *metro* tiene distintas longitudes en función de las distintas velocidades absolutas a las que se traslade. Así,

Este comportamiento, propuesto por Fitzgerald y Lorentz para explicar la absurda coincidencia de la velocidad relativa de la luz para todos los sistemas de referencia, no fue aceptada en su día, porque los más cuidadosos experimentos no pudieron revelar ninguna tensión que confirmara la contracción originada por el movimiento absoluto. Y eso fue lo que movió a Einstein a atribuir el fenómeno relativista a las cualidades intrínsecas de un espacio y un tiempo relativos.<sup>303</sup>

En la física clásica había unas leyes de transformación para las coordenadas y otras para las velocidades; había leyes de transformación para el espacio pero no para el tiempo porque el tiempo era el mismo en todos los sistemas inerciales, como invariantes también eran las leyes de la mecánica en todos ellos. Las leyes de transformación de Lorentz transforman las coordenadas de espacio y también las de tiempo, además de la velocidad. En la transformación de Lorentz el tiempo varía y se comporta de una manera similar a como se comporta una coordenada espacial en la transformación clásica. Y en este nuevo escenario también las leyes de la mecánica deben ser invariantes para todos los sistemas inerciales.

---

<sup>302</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. op.cit.* p. 108-109.

<sup>303</sup> SOMMER, H. *op.cit.* p. 113.

Pero, además, en la transformación clásica, si bien las coordenadas espaciales variaban al cambiar de sistema, no ocurría esto con la distancia entre dos posiciones dentro de un mismo sistema: ésta era invariante en todos los sistemas. Sin embargo con la transformación de Lorentz las distancias espaciales dentro de un sistema también se contraen con el movimiento –aunque esta contracción no se da en la dirección perpendicular a dicho movimiento sino sólo en sentido longitudinal, esto es, en la misma dirección del movimiento–, contracción que aumenta con el aumento de la velocidad del sistema. Todo evento queda definido en un sistema de referencia por sus cuatro coordenadas –tres espaciales y una temporal– conocidas las cuales, además de la velocidad relativa del sistema con respecto a un segundo sistema, podemos obtener las coordenadas del mismo evento si se observa desde el segundo sistema –que serán otras– aplicando las fórmulas de transformación de Lorentz.

Lo sorprendente del resultado es que, como ya adelantábamos, además de las coordenadas espaciales, también la coordenada temporal es diferente en cada sistema. Es decir, los relojes pertenecientes al primer sistema marcan todos un tiempo  $t$  para un evento que los relojes de un segundo sistema registran con un tiempo  $t'$  distinto a  $t$ . En otras palabras: los períodos de tiempo que transcurren entre dos eventos considerados en un sistema son diferentes a los que transcurren entre los mismos eventos observados desde el segundo sistema. El tiempo, como las longitudes, depende del sistema desde el que se considere; es relativo a él. Así, en este nuevo contexto “desaparece la separación tradicional de la dinámica respecto de la cinemática, y el espacio, fusionado con el tiempo, parece adquirir propiedades físicas activas que no poseía el espacio clásico, al menos en tal grado: por ejemplo, su resistencia a un ilimitado incremento de la velocidad.”<sup>304</sup>

Por otra parte, como señala Capek, algunos rasgos fundamentales del tiempo clásico –como su unicidad, uniformidad e independencia respecto de los sucesos físicos concretos– se ven ahora contradichos por la teoría de Lorentz, según la cual hay una pluralidad de tiempos locales, siendo cada uno de ellos dependiente de la velocidad de su propio sistema. Dependencia que podría interpretarse como la posibilidad de una acción recíproca causal entre el tiempo y los sucesos que se producen en él: no sólo se ve afectado el ritmo del transcurso de tiempo por la velocidad mecánica de un sistema, sino que, además, el tiempo se retarda en la misma proporción que todos los procesos físicos dentro del sistema que está en

---

<sup>304</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op.cit.* p 188.

movimiento. El tiempo, ahora, está sujeto a la acción causal por medio de los procesos físicos y a su vez afecta a dichos procesos físicos con lo que desaparece la independencia e indiferencia entre ambos términos.

En definitiva, las transformaciones de Lorentz, incorporadas por Einstein a la teoría de la relatividad especial, son un conjunto de ecuaciones que dan cuenta de cómo se relacionan las medidas de una magnitud física obtenidas por dos observadores diferentes y constituyeron la base matemática de la teoría de la relatividad especial de Einstein, ya que las transformaciones de Lorentz se apoyan en el mismo tipo de geometría del espacio-tiempo requeridas por la teoría de Einstein.

## 4.2 La teoría de la relatividad especial

### 4.2.1 *El germen de la teoría de la relatividad especial*

En medio del deslumbrante éxito que cosechaba la ciencia durante el siglo XIX no era fácil percatarse de la debilidad, cada vez mayor, de los fundamentos de la física clásica. Sería el físico y filósofo Ernst Mach (1838-1816) quien, en su obra *La ciencia de la mecánica*, publicada en 1893, los pondría en tela de juicio al cuestionar la concepción newtoniana del espacio y el tiempo absolutos, señalando ya la relatividad de estos conceptos:

Pero no debemos olvidar que todas las cosas del mundo están conectadas unas a otras y dependen unas de otras, y que nosotros mismos y todos nuestros pensamientos constituyen también una parte de la naturaleza. Medir los cambios de las cosas por medio del tiempo es algo que cae completamente fuera de nuestras fuerzas. El tiempo, por el contrario, es una abstracción a la cual llegamos a través de los cambios de las cosas, y esa abstracción la hacemos porque no estamos restringidos a ninguna medida definida, estando como están todas ellas interrelacionadas.<sup>305</sup>

Puesto que Mach creía únicamente en magnitudes de carácter tangible negaba que el tiempo tuviera algún significado real, considerándolo, por el contrario, una idea abstracta producida por la mente humana.

---

<sup>305</sup> MACH, E. *La ciencia de la mecánica*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. pp. 26-27.

Albert Einstein había leído en su época de estudiante las obras de Ernst Mach -*El desarrollo de la mecánica*, publicado en 1883 y *El análisis de las sensaciones*, de 1886- y siempre pensó que Mach había estado en el camino correcto para descubrir la relatividad y que la única razón por la que no lo había hecho fue porque la época no fue la propicia. Influenciado, entre otras cosas, por su obra, Einstein emprende la tarea crítica de desmontar la creencia en la mecánica newtoniana como fundamento de toda la física ante el empeño de algunos por fundamentar en ella incluso la teoría del electromagnetismo de Maxwell, o de explicar en términos mecanicistas la teoría ondulatoria de la luz.

Al igual que los demás físicos, antes del desarrollo de la teoría de la relatividad, Lorentz asumía que la velocidad invariante para la transmisión de las ondas electromagnéticas se refería a la transmisión a través de un sistema de referencia privilegiado, hecho que se conoce con el nombre de hipótesis del éter. Sería con la teoría de la relatividad de Einstein como sería suprimido el éter del escenario. La teoría de la relatividad también lograría armonizar electromagnetismo y mecánica clásica a cambio de transformar las nociones de espacio y tiempo absolutos en los conceptos de espacio y tiempo relativos. Y, además, con ella será abolida la aparente asimetría entre la mecánica –ciencia del movimiento de los objetos materiales- y el electromagnetismo –ciencia de la energía y de la luz, la frontera que separa los dominios de la materia y de la energía.

Hoy día nadie ignora, claro está, que cualquier intento de resolver satisfactoriamente esta paradoja estaba condenada al fracaso mientras el axioma del carácter absoluto del tiempo, es decir, de la simultaneidad, siguiese anclado irreconocidamente en el inconsciente. Claro está que el reconocer este axioma y su carácter arbitrario implica ya en realidad la solución del problema. En mi caso, el tipo de razonamiento crítico que precisaba el descubrimiento de este punto capital fue fomentado de modo decisivo por la lectura de los escritos filosóficos de David Hume y Ernst Mach.<sup>306</sup>

Mientras que la teoría de Lorentz se apoyaba, como la mecánica clásica, en la noción newtoniana de espacio absoluto, inscribiéndose por ello dentro del marco del paradigma clásico, la teoría de la relatividad de Einstein, que incorpora la transformación de Lorentz, constituye una revolución en la teoría del tiempo y del espacio. El nuevo postulado que aporta Einstein es que no hay ninguna señal más veloz que la luz, de lo que concluye que no hay ninguna base física para sostener la

---

<sup>306</sup> EINSTEIN, A. *Notas autobiográficas*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. p. 102.

relación de simultaneidad entre dos acontecimientos que están espacialmente separados.

La teoría de la relatividad incluye dos teorías: la teoría de la relatividad especial y la teoría de la relatividad general. La primera está restringida al movimiento uniforme - es decir, no acelerado- siendo aplicable exclusivamente a sistemas *galileanos*, de coordenadas inerciales, en los que se cumple el principio de inercia clásico<sup>307</sup>, por lo tanto se circunscribe a aquellos casos en los que no hay variación de la velocidad. Por su parte, la relatividad general amplía su dominio a los movimientos acelerados y, por ello, afecta a la interpretación de fenómenos tales como la gravitación. Así como la mecánica clásica se encuentra contenida en la teoría de la relatividad especial cuando se trata de velocidades muy pequeñas en comparación con la velocidad de la luz, del mismo modo la teoría de la relatividad especial viene a ser un caso límite de la teoría de la relatividad general, cuando los campos gravitacionales resultan ser muy débiles.

En la teoría de la relatividad especial la constancia de la velocidad de la luz es considerada como la verdadera causa física de la aparente dilatación de tiempo y de la aparente contracción de la distancia. Esto se deduce inmediatamente de su carácter recíproco. Mientras que en la primitiva interpretación de la relatividad de Lorentz y Fitzgerald los intervalos temporales se dilataban realmente en los sistemas en movimiento y en reposo no experimentaban ningún cambio en este sentido, en la teoría de la relatividad especial hay una perfecta reciprocidad de apariencias. Esta diferenciación de naturaleza ontológica responde al hecho de que, si en la relatividad de los primeros había un sistema inercial privilegiado en reposo – con respecto al espacio absoluto- que era el referente de todos los demás y cuyo tiempo relativo podía ser asociado con el tiempo absoluto, en la teoría de Einstein todos los sistemas de referencia son equivalentes.

Según esto si la velocidad relativa de un sistema de coordenadas con respecto a otro alcanzara la velocidad de la luz, la longitud de una barra se anularía y el tiempo se pararía. Pero estos son fenómenos de perspectiva entre sistemas inerciales. Por otra parte, la teoría de la relatividad establece que ningún cuerpo material puede superar la velocidad de la luz, lo que constituye un límite insuperable en la naturaleza. Por lo tanto, la ley de la mecánica clásica de adición y sustracción de

---

<sup>307</sup> Tal como lo formulara Newton en su primera ley del movimiento: todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado debido a la acción de fuerzas impresas en ellos.

velocidades ya no puede ser válida, o bien, únicamente aplica a velocidades pequeñas comparadas con la velocidad de la luz. Debido a esto en las ecuaciones de transformación de Lorentz aparece  $c$  de forma explícita y representa el límite análogamente a lo que representa en la transformación clásica la velocidad infinita. Así, la relatividad, lejos de contradecir la transformación de la mecánica clásica la incluye como un caso singular.

La idea central de Albert Einstein al formular la relatividad especial fue que, para una completa consistencia con el electromagnetismo, la mecánica tenía que ser revisada para que la invariancia de Lorentz reemplazara a la invariancia galileana. Si nos mantenemos en los bajos valores de las velocidades relativas propias de nuestra escala humana, la invariancia de Lorentz y la invariancia galileana son prácticamente idénticas, pero no ocurre lo mismo si consideramos velocidades relativas cercanas a la velocidad de la luz: aquí la invariancia de Lorentz y la galileana difieren considerablemente. Pero “movimientos tan rápidos sólo nos los muestra la experiencia en el caso de los electrones e iones; para otros movimientos, las desviaciones con respecto a las leyes de la mecánica clásica son demasiado reducidas para ser perceptibles en la práctica”.<sup>308</sup> Por eso, como señala el propio Einstein: “la transformación de Galileo se obtiene de la de Lorentz igualando en esta última la velocidad de la luz  $c$  a un valor infinitamente grande”.<sup>309</sup>

Con la teoría de la relatividad especial Einstein establecía por convención lo que los experimentos de Michelson y Morley habían mostrado: que la velocidad de la luz es idéntica en cualquier sistema de referencia y, por lo tanto, no varía en función de la velocidad relativa del sistema. Como consecuencia directa de esta convención resulta que un par de acontecimientos pueden ser simultáneos en un sistema de referencia –en el sentido de que comparten el valor de la coordenada temporal- y no serlo en otro sistema de referencia que esté en movimiento relativo uniforme con respecto a aquél. En definitiva,

La aceptación del principio de la velocidad constante de la luz implicaba una negación no sólo de la idea de éter, sino también de *todo marco absoluto de referencia que sirviese como medio de diferenciar entre movimientos “aparentes” y “reales”*; en otras palabras, *una negación del espacio absoluto sin movimiento de Newton*. Esto se

---

<sup>308</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. p. 84

<sup>309</sup> EINSTEIN, A. op. cit. p. 83.

puede ver analizando la relativización de la simultaneidad, que es una de las consecuencias más conspicuas del principio de velocidad luminosa constante.<sup>310</sup>

#### 4.2.2 *Los dos postulados de la teoría de la relatividad especial*

Einstein publica en 1905 tres célebres artículos, además de su tesis doctoral, en uno de los cuales -titulado *Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento*- se introduce por primera vez lo que más tarde se denominaría *relatividad especial*. Según sus propias palabras, “es una electrodinámica de cuerpos en movimiento que utiliza una modificación de la doctrina del espacio y el tiempo”. Observó que en la física de su tiempo se había instalado una importante asimetría que separaba radicalmente los fenómenos mecánicos de los electromagnéticos: mientras que la mecánica es la misma en cualquier sistema de referencia inercial, ya esté en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, el electromagnetismo resulta distinto al cambiar de sistema.

Precisamente, para armonizar ambas áreas de la física introduce Einstein dos principios generales de la física: *el principio de relatividad*, que afirma la indiferencia del sistema inercial para la percepción de los fenómenos físicos y el de *la constancia de la velocidad de la luz* según el cual la velocidad de la luz en el vacío no depende de la velocidad del observador ni de la fuente sino que es la misma en y desde cualquier sistema de referencia inercial en que se observe. Dos principios que a primera vista parecen contradictorios entre sí pero que en realidad vienen a apoyar la idea de que “las mismas leyes de la electrodinámica y de la óptica son válidas en todos los sistemas de referencia para los que son ciertas las ecuaciones de la mecánica”.<sup>311</sup>

La teoría de la relatividad especial se apoya, por lo tanto, en dos postulados: la constancia de la velocidad de la luz en el vacío y el principio de relatividad –ya formulado por Galileo- pero, mientras que la física clásica lo refería únicamente a los fenómenos de la mecánica, ahora, con la relatividad especial, su dominio se verá ampliado, además, a los fenómenos del electromagnetismo. Este principio establece que las todas las leyes de la naturaleza son las mismas en todos los sistemas de coordenadas en movimiento uniforme relativo por lo que establece,

---

<sup>310</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op.cit.* p 164.

<sup>311</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad. op. cit.* p. 62.

también, la imposibilidad de detectar el reposo absoluto y el movimiento uniforme pues ambos son indistinguibles. Así, al hacerse innecesario el concepto de espacio absoluto estacionario, también desaparece la necesidad de postular la existencia del éter. Intentaremos visualizar esta idea más claramente con un ejemplo, del mismo modo que Einstein lo explicó.

Imaginemos una estancia en movimiento uniforme con observadores interiores y observadores exteriores, dentro de la cual es emitida una señal luminosa justo desde el centro y hacia todas direcciones. Aceptando el principio de constancia de la velocidad de la luz y el principio de relatividad de Galileo, tendremos que el observador interior situado en el centro de la estancia percibirá que la señal luminosa alcanza simultáneamente todas las paredes de la misma, ya que éstas están a igual distancia de la fuente de emisión y la velocidad de la luz es igual en todas direcciones. Mientras tanto, el observador exterior a la estancia percibirá que la velocidad de la luz de las señales luminosas emitidas en el centro de la estancia en movimiento relativo rectilíneo y uniforme con respecto a él es la misma exactamente que la que percibe el observador interno a la estancia. No le afecta el movimiento relativo de la fuente de luz y observa una señal luminosa desplazándose con la misma velocidad en todas direcciones. Pero, además, verá que una de las paredes de la estancia se mueve en la misma dirección es decir, trata de escapar del rayo de luz mientras que la pared opuesta en el sentido del movimiento se acerca a la señal luminosa. Por lo tanto, para el observador externo la señal luminosa no llegará simultáneamente a las dos paredes perpendiculares a la dirección del movimiento sino que llegará antes a una pared que a la otra.

Vemos, pues, que no podemos atribuir una significación *absoluta* al concepto de simultaneidad; dos sucesos que, visos desde un sistema dado de coordenadas, son simultáneos, no pueden ser considerados como sucesos simultáneos al contemplarlos desde un sistema que se halle en movimiento con respecto al primero.<sup>312</sup>

Este resultado contradice la noción de simultaneidad de la física clásica ya que ahora dos sucesos que son simultáneos para el observador interior no lo son para el exterior. Mientras que en la física clásica un mismo reloj marcaba el mismo tiempo en todos los sistemas inerciales ahora el tiempo y otros conceptos como *simultaneidad*, *antes* y *después* ya no tienen el significado absoluto que tenían. En cierta forma, la teoría de la relatividad especial de Einstein constituye una

---

<sup>312</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op.cit. p. 67.



prolongación del principio de relatividad de Galileo según el cual, recordemos, ninguna experiencia mecánica permite distinguir entre dos sistemas de referencia inerciales de velocidades absolutas diferentes, y desde el punto de vista de la mecánica todo sucede como si estuvieran en reposo con respecto al espacio absoluto.

Einstein llama al principio de relatividad de Galileo *principio de relatividad en sentido restringido*, y lo enuncia en estos términos: si un sistema se mueve con respecto a otro con un movimiento de traslación uniforme entonces los sucesos que tienen lugar en él se rigen, con respecto al segundo sistema, por las mismas leyes físicas que con respecto a sí mismo. En otras palabras: si un cuerpo o sistema es un sistema de coordenadas de Galileo, es decir, un sistema inercial de la mecánica clásica, entonces también será un sistema de coordenadas inercial de Galileo cualquier otro sistema que posea con respecto a él un movimiento de traslación uniforme. Con esto se niega la posibilidad del movimiento absoluto ya que es imposible determinar el reposo de un cuerpo o sistema si no es con relación a otro cuerpo o sistema porque las leyes de la física deben ser las mismas en todos los sistemas de referencia en movimiento relativo uniforme.

Según el principio de relatividad de Galileo todos los sistemas de coordenadas son equivalentes para la descripción del movimiento y para pasar de un sistema inercial a otro basta con utilizar la transformación de Galileo, una de cuyas consecuencias es la suma de velocidades, a causa de lo cual la velocidad relativa de la luz nunca puede ser igual en todos los sistemas y, además de esto, esta suma de velocidades relativas puede dar como resultado un valor superior al de la luz. Por lo tanto, en apariencia este principio es incompatible con la ley de la propagación de la luz que afirma la constancia de su velocidad  $-c-$  en el vacío ya que esto implica que, según el principio de relatividad y dependiendo de la velocidad relativa del observador, debería obtenerse un valor distinto de  $c$  –que podría ser mayor o menor que el valor de  $c-$  al medir la velocidad de la luz. En líneas generales, de la combinación de estos dos principios se desprende que si medimos la velocidad de la luz desde una situación de reposo con respecto al éter obtenemos  $c$  -300000 km por segundo aproximadamente- pero, si nos movemos a través del éter hacia el foco de luz la velocidad observada de la luz sería mayor que  $c$ , mientras que si nos movemos en la misma dirección, la velocidad resultante sería menor. Pero, como adelantamos más arriba, los resultados obtenidos por Michelson mostraban que, por el contrario,

se obtenía el mismo valor para la velocidad de la luz cualquiera que fuese el estado de movimiento en que se encontrara el observador.

Como ya hemos adelantado, esta contradicción parecía exigir el abandono de uno de los dos principios, que se mostraban, así, incompatibles. Por otra parte, como dice Einstein:

Las investigaciones teóricas de H. A. Lorentz sobre los procesos electrodinámicos y ópticos de los cuerpos en movimiento –investigaciones que marcaron nuevos rumbos en la física- demostraron que las experiencias en estos terrenos conducen necesariamente a una teoría de los fenómenos electromagnéticos que tiene como consecuencia irrefutable la ley de la constancia de la luz en el vacío. Por esa razón, los teóricos más eminentes se inclinaban más bien por desechar el principio de la relatividad, pese a que no se había encontrado ni un solo hecho empírico que lo contradijera.<sup>313</sup>

Pero Einstein mostraría, a través de un análisis crítico de los conceptos físicos de espacio y tiempo, que la incompatibilidad mencionada es, en realidad, sólo aparente. Más bien al contrario, ambos principios se sustentan teóricamente el uno en el otro. Y esto le llevó directamente al primer postulado de la teoría de la relatividad especial, que tiene dos versiones distintas y complementarias en su expresión: la primera es que un observador no puede detectar su movimiento uniforme salvo en relación a otros objetos; la segunda es que las leyes de la física son las mismas para todos los observadores, independientemente de si están en movimiento, siempre que éste no sea un movimiento acelerado. Este primer postulado es compatible con el segundo postulado que, en consonancia con los resultados obtenidos por Michelson, afirma que la velocidad de la luz es constante y debe ser la misma para todos los observadores sea cual sea su velocidad relativa. La condición es que, en lugar de la transformación de Galileo, ahora serán las ecuaciones de Lorentz las que proporcionen las correspondencias entre los distintos sistemas inerciales.

En consecuencia, puesto que la postulación de la existencia del éter ahora se hace innecesaria, si los observadores no pueden detectar su propio movimiento a través del éter, sólo pueden referirse a su movimiento si es en relación a otros objetos. En la física clásica, como hemos dicho, la postulación del éter estacionario servía como

---

<sup>313</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. p. 76.

sistema de referencia para pensar el movimiento absoluto y, por tanto, también para afirmar la existencia de un espacio y un tiempo absolutos. Pero la física relativista, al no contar con ningún sistema privilegiado hace imposible sostener estas nociones absolutas ya que ahora sólo hay movimientos relativos.

En definitiva, Einstein mostró que los supuestos de la invariancia de la velocidad de la luz y la independencia de las leyes físicas respecto de la elección del sistema de referencia inercial son compatibles si para la conversión de las coordenadas espaciales y temporales de un suceso se utiliza un nuevo tipo de relaciones: la transformación de Lorentz.

La teoría de la relatividad especial surge del campo de la electrodinámica y de la óptica. Para encajar la mecánica clásica en la teoría de la relatividad especial basta con mantenerse en un umbral de velocidades muy alejado de la velocidad de la luz, tal y como ocurre en el entorno físico en el que nos movemos de forma cotidiana. Movimientos tan rápidos como el de la luz sólo aparecen en el ámbito de las partículas elementales; para el resto de movimientos las leyes de la mecánica clásica son válidas debido a que las desviaciones que puedan producirse a causa de la velocidad de la luz son tan pequeñas que apenas son apreciables.

#### 4.2.3 *La naturaleza convencional del tiempo relativista*

La teoría de la relatividad especial supuso una primera unificación entre la mecánica clásica –excluyendo la gravitación– y el electromagnetismo. “Los elementos primitivos de la teoría son los puntos materiales, con o sin carga eléctrica, de pequeña dimensión (“partículas de prueba”), para que no ejerzan una atracción gravitacional, y los rayos de luz”.<sup>314</sup> Al no contemplar la gravitación la teoría de la relatividad especial no tiene en consideración los objetos muy masivos como los planetas o las estrellas. En cuanto a las circunstancias, se tienen en cuenta velocidades cercanas a la de la luz y, como conceptos base, fundamentales y que forman parte del escenario de la teoría de la relatividad espacial, el de *sistema de referencia*, además de otros como el de *reloj* o el de *simultaneidad*.

En lo que se refiere a la noción de *reloj*, en tanto que fenómeno o proceso cuya regularidad permite efectuar la medida de unidades de tiempo, encontramos en la

---

<sup>314</sup> CASTAGNINO, N. Y SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo: una visión filosófica y científica*, Buenos Aires: Catálogos, 2006, p. 287.

propia naturaleza procesos cuya regularidad y universalidad nos permiten utilizarlos como relojes patrón para cualquier sistema de referencia: la oscilación de cristales como el cuarzo, o de átomos como el de cesio, entre muchos otros, permiten la medición del tiempo gracias a que se caracterizan por una regularidad de alta precisión y constancia. Cuando la comunidad científica asume la constancia de la velocidad de la luz  $-c-$  en todos los sistemas de referencia ésta puede ser utilizada como velocidad patrón; y gracias a tener un proceso de medición de tiempo y una velocidad patrón podemos tener también una longitud patrón: la distancia que recorre la luz en una unidad de tiempo patrón.

Como veremos a continuación la teoría de la relatividad utiliza la señal luminosa como patrón o reloj que permitirá medir el tiempo. Y lo hace mediante un método absolutamente *operacional*. Puesto que toda señal electromagnética que es emitida y captada en un sistema de referencia posee, en relación a dicho sistema, la propiedad de que su velocidad es independiente de la dirección y sentido en que se mueve la fuente que la emite y, por lo tanto, también es independiente de la velocidad relativa del sistema de referencia en que se encuentra dicha fuente, - llamaremos con Kourganoff a estas características *propiedad (E)*- la velocidad de la luz tiene un carácter universal que le permite ser utilizada como patrón de medición.

Una primera idea importante de Einstein fue la de que es *más importante atribuir a la luz la propiedad (E)* que hacer cualquier suposición relativa al *mecanismo físico* de la propagación de la luz.

Einstein renuncia, provisionalmente, a formular cualquier hipótesis acerca de la naturaleza profunda de la luz. Se contenta con atribuirle la propiedad (E), sin buscar *por qué y cómo* la luz puede poseer tal propiedad.<sup>315</sup>

Para establecer la sincronización de los relojes en el contexto de la relatividad se hace necesario remitirse a un concepto más primario, el de *simultaneidad operacional*, cuya definición se establece en base a la señal luminosa y su trayectoria espacio-temporal. Así, el método *operacional* de sincronizar dos relojes que están en reposo relativo en un mismo sistema de referencia consiste básicamente en el siguiente procedimiento:

1. Considérense sendos relojes situados respectivamente en los puntos A y B.

---

<sup>315</sup> KOURGANOFF, V. *Introducción a la teoría de la relatividad*. Barcelona: Editorial Labor S. A. 1967, p. 96.

2. Al estar en reposo relativo la distancia entre ambos es constante y sus trayectorias (a y b) –las que recorren los relojes con el sistema de referencia, que está en movimiento uniforme- son paralelas.
3. El primer reloj emite –en el punto A y en el instante  $t$ - una señal luminosa dirigida hacia el segundo reloj al que llega en el punto B y en el instante  $T$ – registrado así por el segundo reloj.
4. Un espejo fijado al segundo reloj refleja la señal luminosa y la envía de nuevo al primer reloj –reloj éste que ahora, en el instante  $t'$  está en el punto  $A'$  debido al movimiento de traslación de todo el sistema.
5. Pero como los dos relojes están en reposo relativo en el sistema y, por tanto, uno respecto al otro también lo está, su distancia es la misma para ambos trayectos de la señal luminosa y así,
6. Si obtenemos que  $T$  es igual a la mitad de la suma de  $t$  y  $t'$  –es decir,  $T=(t+t')/2$ - diremos que los dos relojes están sincronizados.

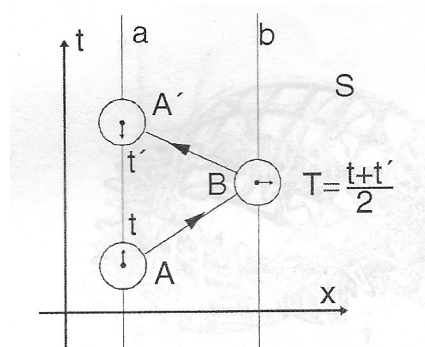


Figura 1. Sincronización de relojes luminosos en dos trayectorias paralelas a y b

Este método estrictamente operacional permite definir el concepto de *simultaneidad*, para relojes en reposo en un mismo sistema de referencia inercial. Y aquí el tiempo, lejos de ser un concepto primitivo, es un concepto derivado de otro concepto: el de movimiento, concepto éste involucrado absolutamente, como vemos, en la idea de sincronización.

Einstein hizo de la descripción matemática directamente una interpretación proponiendo considerar como tiempo y como espacio las coordenadas de éstos, es decir, estrictamente lo que registran los aparatos de medida. En cuanto al hecho de utilizar un *proceso* como la velocidad de la luz como patrón de medición, esto permite, además de encontrar un correlato físico para el concepto de simultaneidad, poner de manifiesto “la interdependencia tan estrecha de las relaciones temporales

y espaciales que ya no se puede tratar el tiempo y el espacio como materias esencialmente independientes”.<sup>316</sup>

#### 4.2.4 Relatividad de la simultaneidad. Dilatación del tiempo y contracción de la distancia

El hecho de que ya no es posible afirmar la simultaneidad en los términos que hasta ahora se hacía tiene como consecuencia directa que, en lugar de un único tiempo universal, en este nuevo escenario propiciado por la teoría de la relatividad especial se postulan múltiples tiempos, tantos como sistemas de referencia se conciben. Desaparece, con ello, la noción de simultaneidad universal. Únicamente permanecerá una idea de simultaneidad, que es de carácter convencional y está sustentada en la regulación de relojes.

Hay que tener en cuenta que todos aquellos juicios en los que interviene el tiempo son siempre juicios referentes a *sucesos simultáneos*. Por ejemplo, si yo digo: “Ese tren llega a las siete”, lo que intento decir es algo así como: “La posición de la manecilla pequeña de mi reloj en las siete y la llegada del tren son sucesos simultáneos”.<sup>317</sup>

Einstein se pregunta qué sentido tiene desde el punto de vista de la física afirmar de dos hechos *que son simultáneos* y considera necesario obtener una definición de simultaneidad que proporcione el método adecuado para determinar si, en efecto, la simultaneidad se da entre dos acontecimientos. Como ya hemos señalado anteriormente, Einstein, al tomar las coordenadas del espacio y del tiempo -es decir, lo que registran los aparatos de medición- por los propios espacio y tiempo, hizo de la descripción matemática una interpretación del espacio y del tiempo.

Imaginemos que colocamos tres relojes idénticos –por lo que se supone que marchan al mismo ritmo- en tres puntos de un sistema de coordenadas dispuestos de modo que la posición de sus manecillas sea simultáneamente la misma. Entenderíamos ahora por *tiempo de un suceso* la lectura o posición de las manecillas del reloj que se encuentra en vecindad inmediata con el suceso, y así asignamos a cada suceso un valor. Pero, así como esta definición de la simultaneidad de dos sucesos es factible si los sucesos se encuentran cercanos

---

<sup>316</sup> VAN FRAASSEN, B. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*, op. cit. p. 170.

<sup>317</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. p. 63.

entre sí, cuando éstos están separados por grandes distancias aparecen serias dificultades; “cuando se trata de conectar en el tiempo una serie de sucesos que ocurren en lugares diferentes, o bien -lo que viene a ser lo mismo- de evaluar tiempos correspondientes a sucesos que se desarrollan en lugares alejados del reloj”.<sup>318</sup>

Y no se puede definir un tiempo común para varios sucesos que ocurren en lugares diferentes a menos que establezcamos por definición que el tiempo que requiere la luz –que es la herramienta de medición que utiliza Einstein- para viajar de uno a otro es igual al que requiere para hacer el camino de vuelta.

Para ilustrar esta idea Einstein utiliza como ejemplo los sistemas de referencia representados por una vía de ferrocarril, por un lado, y el tren que pasa sobre ella, por otro. Si el tren es lo suficientemente largo podremos afirmar que todo suceso que tenga lugar a lo largo de la vía tiene lugar también en un punto determinado del tren y viceversa, lo que nos permitirá afirmar la simultaneidad de un suceso en ambos sistemas. Pero aquí surge la siguiente cuestión: ¿dos sucesos que sean simultáneos ambos en un mismo sistema de referencia –por ejemplo, dos chispazos simultáneos producidos en dos puntos de la vía separados entre sí- serán simultáneos también con respecto al otro sistema? En otras palabras, si dos sucesos se producen simultáneamente a lo largo de la vía, al observarlos desde el tren ¿también observamos desde ese segundo sistema de referencia que se producen simultáneamente? La respuesta es que no. Al afirmar que los dos chispazos son simultáneos estamos afirmando que los rayos de luz que parten de ambos convergen exactamente en el punto medio entre ambos acontecimientos, en virtud del postulado de la constancia de la velocidad de la luz. Pero ambos sucesos corresponden también a dos posiciones concretas del tren en marcha en el momento de su ocurrencia en la vía.

También en este momento el punto medio entre ambos en la vía coincide con la posición del punto medio de ambos en el tren. Pero este último punto medio se mueve con el tren en su misma dirección y a su misma velocidad. Un observador situado en el punto medio de la vía recibiría las señales luminosas de ambos chispazos en el mismo momento, pero un observador que se encuentre en el punto intermedio del interior del tren en movimiento observando los dos chispazos

---

<sup>318</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. *ibid.*

ocurridos en la vía en realidad corre al encuentro de un rayo de luz mientras que es perseguido por la luz que proviene del otro chispazo –el que se produjo en la posición de la vía de la que el tren se aleja- por lo que la luz de un chispazo le llegará antes que la del otro.

De hecho, al ser la velocidad de la luz el único elemento fijo que se conserva al pasar de un sistema de referencia a otro se puede afirmar que ésta representa en la teoría de la relatividad especial el mismo papel que jugaba el éter en el universo pre-relativista. La teoría de la relatividad se apoya en las ondas electromagnéticas – en concreto, en las señales luminosas- para establecer la definición del patrón de duración: éste es el tiempo que tarda la luz en completar un viaje de ida y vuelta sobre una distancia elegida de forma arbitraria. Así, pues,

Sucesos que con respecto al terraplén son simultáneos no lo son con respecto al tren, y viceversa (relatividad de la simultaneidad). Todo cuerpo de referencia (sistema de coordenadas) tiene su tiempo particular; la especificación de un tiempo sólo tiene sentido cuando se indica el cuerpo de referencia al cual hace relación dicha especificación.<sup>319</sup>

Por lo tanto, dos acontecimientos que son simultáneos en un sistema de referencia inercial no son simultáneos en ningún otro sistema de referencia inercial que se encuentre en movimiento de traslación rectilínea y uniforme respecto al primero. En otras palabras: sucesos que con respecto a un sistema son simultáneos, no lo son si se observan desde otro sistema de referencia, y este efecto se da en una relación recíproca, para ambos sistemas de referencia. Es lo que Einstein denomina *relatividad de la simultaneidad* –o dislocación de la simultaneidad- según la cual todo sistema de referencia tiene su propio tiempo y, por lo tanto, para hablar del tiempo de cualquier acontecimiento con propiedad es necesario referirlo a un sistema de coordenadas.

La simultaneidad es, pues, algo relativo que depende del sistema de referencia. El intervalo de tiempo que separa dos acontecimientos puede ser nulo si al observarlos nos situamos en el marco de las relaciones temporales del sistema de referencia propio a dichos acontecimientos y, sin embargo, presentar un intervalo de tiempo con valor mayor que cero si son observados en el marco de las relaciones temporales propias a un sistema de referencia distinto al de los acontecimientos.

---

<sup>319</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. pp. 79-80.



Dicho de otro modo: dos acontecimientos que se producen “al mismo tiempo” en cierto sistema no se producen “al mismo tiempo” en otro sistema inercial.

Antes de la teoría de la relatividad, la física supuso siempre tácitamente que el significado de los datos temporales era absoluto, es decir, independiente del estado de movimiento del cuerpo de referencia. Pero acabamos de ver que esta suposición es incompatible con la definición inmediata de simultaneidad; descartando dicha suposición desaparece el conflicto entre la ley de propagación de la luz en el vacío y el principio de la relatividad.<sup>320</sup>

Pero la teoría de la relatividad especial no se limita a relativizar la simultaneidad a distancia sino que, además, muestra que este defecto de simultaneidad o variación en la relación temporal es proporcional a la distancia espacial que media entre los acontecimientos observada en el sistema de referencia -que ahora denominamos *impropio*, y ésta depende, a su vez, de la velocidad relativa entre ambos sistemas. La longitud de la distancia entre ambos acontecimientos, medida desde el sistema de referencia propio difiere de la longitud de la distancia entre ambos acontecimientos medida desde un sistema de referencia inercial distinto. Y este factor de proporcionalidad entre ambas magnitudes puede ser despreciable para acontecimientos muy próximos entre sí, pero puede adquirir un valor significativo para acontecimientos muy alejados espacialmente, para los que el valor de la velocidad de la luz es significativo.

En lo que se refiere, ya no a acontecimientos independientes y distantes entre sí, sino a un mismo proceso, la teoría de Einstein muestra que las medidas objetivas de la duración de un proceso localizado en un punto pueden proporcionar resultados de distinto valor según se efectúen de forma propia –en el mismo sistema de referencia inercial en el que se produce el proceso- o de forma impropia –desde otro sistema de referencia inercial-, de tal modo que, mientras la duración propia depende solamente de las características del proceso considerado, la duración impropia depende de estas características y, además, de la velocidad relativa de un sistema con respecto al otro. Y la relación entre la duración propia y la duración impropia es absolutamente recíproca.

Respecto a la noción de *dilatación del tiempo* utilizada aquí, Kourganoff hace las siguientes advertencias que nos parece importante no obviar:

---

<sup>320</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. p. 80.

A veces se dice que la relación entre la “duración propia” y la “duración impropia” expresa la *dilatación del tiempo* provocada por el movimiento relativo.

Sin embargo, si bien la palabra “dilatación” considerada en el sentido de *aumento*, resulta en sí misma aceptable, no lo es asociada con la palabra “tiempo”. El conjunto de ambas palabras sugiere la imagen incorrecta de un objeto concreto que se alarga (como una regla metálica que se calienta). El término “dilatación del tiempo” debe también rechazarse por presentar el tiempo independiente de todo proceso concreto, mientras que el concepto de duración no tendría ninguna significación en un universo en el que no se produciría ningún acontecimiento.<sup>321</sup>

Así, pues, el postulado del carácter absoluto de los intervalos de tiempo está implícito en la suposición de que el movimiento relativo de los sistemas no tiene influencia alguna sobre el intervalo de tiempo que media entre dos acontecimientos, suposición que Einstein tachará de arbitraria. Podría suceder –afirma– que, por el contrario, el intervalo de tiempo entre dos acontecimientos determinados tenga un valor distinto en un sistema de referencia que en otro que se encuentra en movimiento relativo uniforme con respecto a él. De hecho, el carácter relativo de la distancia espacial entre dos acontecimientos va acompañado por el carácter relativo de su distancia temporal, vinculando el patrón de duración al patrón de longitud espacial en lo que se conoce como patrón Einstein-Langevin.

Como hemos dicho, según el punto de vista de la física clásica, dos acontecimientos que se producen al mismo tiempo en un sistema también son simultáneos en otro. Pero en tal caso, el primer sistema no tendría tiempo de avanzar en su movimiento de traslación relativa con respecto al segundo entre ambos acontecimientos. Y este “carácter absoluto de la simultaneidad comporta la invariabilidad de la distancia entre ambos acontecimientos”<sup>322</sup> en cualquiera de los dos sistemas en movimiento relativo. Y es en este punto en el que la relatividad especial de Einstein aporta una nueva perspectiva ya que lo que afirma es que la distancia entre dos acontecimientos simultáneos es mayor si se mide desde el sistema referencial impropio que si es medida desde el sistema de referencia propio; es lo que se conoce como *contracción relativista*-. “Así, pues, la teoría de Einstein establece una “simetría” entre la *relatividad de la duración* de los acontecimientos *copuntuales no simultáneos* [...] y la *relatividad de la distancia* entre acontecimientos *simultáneos no copuntuales*”.<sup>323</sup>

---

<sup>321</sup> KOURGANOFF, V. *Introducción a la teoría de la relatividad. op. cit.* p. 107.

<sup>322</sup> KOURGANOFF, V. *op. cit.* p. 123.

<sup>323</sup> KOURGANOFF, V. *op. cit.* pp. 123-124.

En este contexto, y en virtud de la reciprocidad que se da entre los diversos sistemas de referencia, los términos *contracción* y *dilatación* no significan ninguna modificación material sino que denotan los efectos del cambio de perspectiva. Y dichos efectos sólo afectan a las relaciones entre las dimensiones longitudinales de los cuerpos físicos en la dirección del movimiento de traslación relativo.

[...] el principal error que debe evitarse es el de imaginarse que según Einstein “algo le sucede a una varilla en movimiento”. Para los que tuvieran todavía la tentación de creer que un cuerpo puede “contraerse” materialmente debido a su movimiento, recordemos con Einstein que se puede modificar la velocidad  $v$  de un cuerpo mediante la simple sustitución del sistema de referencia y que es imposible que un cuerpo cambie de “longitud” por la simple “conciencia” de esta sustitución.<sup>324</sup>

Así, pues, sin perder de vista las precauciones necesarias a la hora de interpretar los términos “dilatación” y “contracción”, diremos que los principales efectos de la relatividad especial se pueden resumir en los siguientes:

- La relatividad de la simultaneidad de los acontecimientos distantes en función del sistema de referencia inercial.
- La dilatación temporal o relatividad de la duración -intervalo de tiempo- entre dos acontecimientos
- La contracción relativista o relatividad de la distancia espacial entre dos acontecimientos.
- La reciprocidad de la dilatación temporal y de la contracción relativista.

#### 4.2.4 *Relatividad de la simultaneidad y orden de sucesión*

En base a esto, el orden de sucesión de los acontecimientos o fenómenos que sean copuntuales<sup>325</sup> en cierto sistema inercial no se verá afectado de ninguna manera por un cambio de sistema de referencia. Este orden es el mismo siempre, independientemente de la velocidad de traslación relativa del sistema de referencia y del sentido de este movimiento de traslación.

Puesto que el orden de sucesión de los acontecimientos copuntuales en cierto sistema ( $L'$ ) es invariable, y teniendo en cuenta que los acontecimientos más próximos en el

---

<sup>324</sup> KOURGANOFF, V. *Introducción a la teoría de la relatividad*. *op. cit.* p. 131.

<sup>325</sup> En términos generales, entendemos aquí, con Kourganoff, por acontecimientos *copuntuales* los acontecimientos cuya distancia de separación es inferior a la que recorre la luz durante el intervalo de tiempo que media entre ambos acontecimientos en ese mismo sistema.

espacio que en el tiempo son siempre copuntuales en cierto sistema, todos los acontecimientos que satisfacen esta última condición presentarán un orden de sucesión “invariante”.<sup>326</sup>

Pero en el caso de que no se cumpla esta condición el orden de sucesión de los acontecimientos en el tiempo puede incluso invertirse al cambiar de un sistema de referencia a otro. Así, cada vez que la distancia entre los acontecimientos considerados en un sistema cualquiera es superior a la que la luz recorre durante el intervalo de tiempo que separa ambos acontecimientos será posible encontrar un sistema en el que ambos acontecimientos sean simultáneos.

Por lo tanto, para acontecimientos más próximos en el espacio que en el tiempo - que pueden ser copuntuales en ciertos sistemas- el orden de sucesión es absoluto y, por otra parte, para acontecimientos más alejados en el espacio que en el tiempo -que pueden ser simultáneos en ciertos sistemas- el orden de sucesión es relativo. Y el conjunto de estos dos grupos de acontecimientos agota la mayoría de posibilidades, excepto el caso de los acontecimientos que se encuentran distanciados en la misma medida en el tiempo que en el espacio. Esto excluye la posibilidad de que los acontecimientos vinculados por relaciones causales pudieran invertir su orden de sucesión al cambiar de sistema de referencia provocando con ello que se pudiera observar un efecto antes que su causa, lo cual es imposible.

“Uno de los principios fundamentales de la teoría de Einstein es que ningún sistema material puede desplazarse con una velocidad superior o igual a la de la luz”.<sup>327</sup> Los acontecimientos cuyo orden de sucesión puede ser así invertido es imposible que estén unidos por una relación causal ya que al ser superior la distancia que los separa a la que recorre la luz en ese intervalo de tiempo el nexo causal no puede propagarse del uno al otro antes que la luz, cuya velocidad no puede ser sobrepasada por ningún fenómeno físico. Por lo tanto, dos acontecimientos que pertenecen a la clase cuyo orden de sucesión no es absolutamente invariante en todos los sistemas de referencia deben ser siempre totalmente independientes entre sí, sin ninguna influencia mutua posible. No pueden ser llevados a coincidir en el espacio por ningún cambio de sistema de referencia pero sí pueden ser llevados a coincidir en el tiempo. El tiempo conserva, con ello, su carácter irreversible.

---

<sup>326</sup> KOURGANOFF, V. *Introducción a la teoría de la relatividad. op. cit.* p. 150.

<sup>327</sup> KOURGANOFF, V. *op. cit.* p. 155.

Así, pues, como señala Capek,<sup>328</sup> tanto la relatividad de la simultaneidad como la sucesión de los acontecimientos tienen un límite que está relacionado con el límite de la velocidad de la luz. La simultaneidad y sucesión de los acontecimientos copuntuales son invariantes para cualquier sistema de referencia. Esto garantiza la irreversibilidad de los procesos naturales y sus relaciones causales. Sólo la sucesión de acontecimientos no copuntuales –que no tienen conexión causal ya que la distancia que los separa en el espacio es mayor que su intervalo de tiempo multiplicado por la velocidad de la acción causal más rápida, que es la de la luz- es susceptible de aparecer invertido en un marco de referencia impropio. En lo que se refiere a la simultaneidad de los acontecimientos no copuntuales, es relativa e implica la negación del espacio entendido como yuxtaposición objetiva de acontecimientos simultáneos. Y aquí se anuncia el estrecho vínculo que se va a establecer entre espacio y tiempo de la mano de la teoría de la relatividad: la relatividad de la simultaneidad está íntimamente ligada a la relatividad de yuxtaposición; de hecho puede considerarse que son las dos caras de una misma moneda.

Ahora la teoría de la relatividad recusa con atrevimiento esta creencia abrigada durante tantos años: lo mismo que el espacio clásico no es nada más que la totalidad de los sucesos simultáneos, su existencia objetiva desaparece necesariamente tan pronto como se pierde la existencia objetiva de la simultaneidad absoluta. Simplemente *no* existe el espacio clásico concebido como yuxtaposición simultánea de puntos; admitir lo contrario significaría admitir la simultaneidad absoluta de los sucesos distantes, que es precisamente lo que niega la teoría especial de la relatividad.<sup>329</sup>

Si algo –como, por ejemplo, la información- pudiese viajar más rápido que  $c$  en un marco de referencia, la causalidad se vería violada debido a que, en otros marcos de referencia, la información sería recibida antes de ser enviada y, por tanto, el efecto se podría observar antes que su causa. Debido a la dilatación del tiempo de la relatividad especial, el cociente entre el tiempo percibido por un observador externo y el tiempo percibido por un observador que se mueve a una velocidad cada vez más cercana a la velocidad de la luz se aproxima a cero. Si algo pudiera moverse más rápidamente que la luz, este cociente no sería un número real. Como ya hemos señalado con anterioridad, en este punto es fundamental la aportación que hace la teoría de la relatividad -frente a la concepción de la mecánica

---

<sup>328</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* pp.179-180.

<sup>329</sup> CAPEK, M. *op. cit.* p. 183.

newtoniana- al establecer como un límite irrebachable la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas.

Así, pues, la transformación de la sucesión en simultaneidad o la inversión del orden temporal sólo puede producirse cuando los sucesos correspondientes no están causalmente relacionados; en ningún sistema concebible puede aparecer un efecto antes de su causa. Tal caso -que sí era teóricamente posible en la física clásica pues no es incompatible con sus leyes- es imposible en la teoría de la relatividad.

Por otra parte, para un observador, el tiempo relativo a su propio sistema –es decir, considerando el sistema en reposo- representa el intervalo mínimo posible entre dos sucesos. Dos sucesos separados por cierto intervalo de tiempo relativo dentro de su propio sistema no pueden aparecer separados por un intervalo más corto en ningún otro sistema. Y esto hace imposible que los acontecimientos que están relacionados causalmente puedan ver reducido el intervalo temporal que los separa y, mucho menos todavía, anulado o invertido si los acontecimientos son observados desde otro sistema de referencia.

En este nuevo contexto aparece la noción de *cono de luz*, término que denota el conjunto de todos los sucesos que están en relación causal, frente a todos aquellos que no lo están, siendo el cono de luz la región en la cual se propaga la información. En esta clase de sucesos se da que en un intervalo temporal entre los acontecimientos  $a$  y  $a'$ , si  $a$  precede a  $a'$  en un sistema de referencia, entonces  $a$  precede a  $a'$  en todos los sistemas; en ningún sistema ambos eventos ocurrirán simultáneamente y, por supuesto, en ninguno se verá invertido su orden de sucesión. De este modo, es hipotéticamente siempre posible para la materia -o la información- viajar de  $a$  hacia  $a'$ , y ello es compatible con que se dé entre ambos acontecimientos una relación causal.

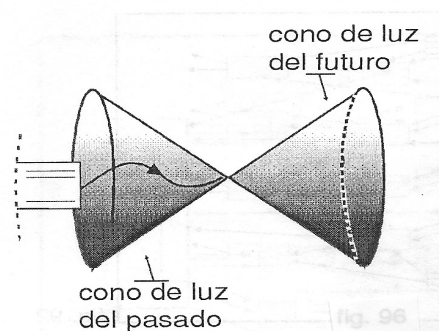


Figura 2. Diagrama de Bohm-Reichenbach para un mensaje en el espacio tiempo

La cinemática clásica supone tácitamente que un cuerpo rígido en movimiento en el momento  $t$  puede representarse, en lo que a su geometría se refiere, por el mismo cuerpo en reposo en una posición dada. Einstein muestra que esto no es así. El significado de los datos temporales, al contrario de lo que venía suponiendo la física clásica, no es absoluto ni independiente del estado de movimiento del sistema de referencia. Y con la negación de ese supuesto sobre la simultaneidad absoluta desaparece el conflicto entre los dos postulados de los que parte la teoría de la relatividad especial: la ley de la propagación de la luz y el principio de la relatividad.

Como señala Capek, la originalidad de Einstein consistió precisamente en la aceptación del hecho de una velocidad *constante* de la luz como principio primario y “no tuvo otra alternativa que extraer de ella todas las consecuencias; sólo gradualmente se hizo evidente que ello implicaba una completa reconstrucción de los fundamentos de la dinámica y la cinemática clásicas”.<sup>330</sup> En cuanto al carácter *finito* de la misma, hasta su descubrimiento “no había diferencia entre simultaneidad aparente o real; no existía ninguna distinción entre “ahora visto” y “ahora real”. La creencia en la velocidad finita de la luz, anticipada por los antiguos atomistas, era considerada en la Edad Media como herejía”.<sup>331</sup>

La aceptación de que la luz *viaja* a una velocidad que no es infinita obligó a distinguir, en el ámbito astronómico, entre lo que acontece en un momento dado y lo que se observa en ese mismo instante. Ahora el tiempo y el espacio ya no son absolutos y tampoco son independientes entre sí. Esta nueva noción consiste en una especie de amalgama entre uno y otro, que los fusiona en lo que se conoce como el *espacio-tiempo* relativista, concepto éste que aniquilará por completo la radical separación clásica entre el espacio y el tiempo absolutos: la espacialidad del tiempo era tan impensable como la temporalidad del espacio.

El espacio clásico de Euclides y Newton era una entidad inmutable y estática, enteramente extraña al transcurso temporal; la única relación que pueden tener los puntos en tal espacio es la relación de *yuxtaposición*, que es intemporal *ex definitione*, a menos que consideremos que la *yuxtaposición simultánea* es también una relación temporal-. En cualquier caso, los conceptos de distancia y sucesión eran definidos como mutuamente exclusivos; cualquier distancia entre dos puntos en el espacio era, por su propia naturaleza, *instantánea*, o sea, intemporal.<sup>332</sup>

---

<sup>330</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p.164.

<sup>331</sup> CAPEK, M. *op. cit.* p.167.

<sup>332</sup> CAPEK, M. *op. cit.* p.182.

Newton hizo explícito este carácter inmutable y estático del espacio y, más tarde, Kant también se ocuparía de separar radicalmente ambos dominios haciendo mutuamente excluyentes las relaciones espaciales y las relaciones temporales. Así, en la exposición metafísica del concepto de tiempo de la *Estética trascendental* de la *Crítica de la razón pura*, afirma: “Éste no posee más que una dimensión: tiempos diferentes no son simultáneos, sino sucesivos (al igual que espacios distintos no son sucesivos, sino simultáneos)”.<sup>333</sup>

Así como la relación de yuxtaposición es la esencia del concepto de espacio, la relación de sucesión es la esencia del concepto de tiempo, siendo ambas relaciones mutuamente excluyentes. Y, aunque se ha utilizado la imagen espacial de una *línea* para representar al tiempo, esta imagen –que incorpora la simultaneidad de sus partes–, en tanto que es una imagen espacial, tiene un carácter que no corresponde verdaderamente al tiempo:

Debido precisamente al hecho de que esta intuición interna no nos ofrece figura alguna, intentamos enjugar tal déficit por medio de analogías y nos representamos la secuencia temporal acudiendo a una línea que progresa hasta el infinito, una línea en la que la multiplicidad forma una serie unidimensional. De ella deducimos todas las propiedades del tiempo, excepto una, a saber, que las partes de la línea son simultáneas, mientras que las del tiempo son siempre sucesivas.<sup>334</sup>

Siguiendo esta línea, Bertrand Russell llegaría a afirmar años más tarde en su artículo titulado *¿Los axiomas euclidianos son empíricos?* –publicado en 1898– que la independencia del espacio respecto del tiempo no se puede negar sin caer en graves contradicciones. Así, afirma Capek,

Ahora se ve con claridad por qué la estructura del espacio había de ser considerada como *rígida*, o sea, independiente del tiempo; la afirmación opuesta presupondría la acción causal del tiempo sobre el espacio que, según palabras de Russell, no se puede suponer sin incurrir en los “más descabellados absurdos”.<sup>335</sup>

Pero con la teoría de la relatividad especial se viene abajo esta creencia: puesto que el espacio newtoniano se reducía a la totalidad de los sucesos simultáneos, su existencia objetiva desaparece necesariamente desde el momento en que se pierde la existencia objetiva de la simultaneidad absoluta. Se puede decir que “el espacio

---

<sup>333</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 47.

<sup>334</sup> KANT, I. *CRP op. cit.* B 50.

<sup>335</sup> RUSSELL, B. *¿Les axiomes propres à Euclide sont-ils empiriques?* Revue de métaphysique et de morale, vol. VI, 1898, p. 773, citado en CAPEK, M. *op. cit.* p. 67.



estático newtoniano es un corte transversal instantáneo de la transformación cósmica”.<sup>336</sup> Pero estos *cortes* sólo se aproximan a la realidad si permanecemos en un escenario cuyas distancias y velocidades son extremadamente lentas comparadas con la velocidad y las distancias que recorre la luz. Sin embargo, en la estructura de la realidad no tienen un correlato objetivo. Con la teoría de la relatividad todas las relaciones que se dan en el universo tienen carácter temporal.

Algunos pensadores han considerado la fusión relativista del espacio y el tiempo como una *espacialización* de tiempo ya que con ello el propio tiempo parece haberse convertido en una cuarta dimensión adicional de un espacio en el que todos los sucesos -pasados, presentes y futuros- se hallarían yuxtapuestos.

La misma idea fue expresada por Ernst Cassirer cuando afirmó que en la teoría de la relatividad desaparece la anisotropía del tiempo, pues la distinción entre el pasado y el futuro es puramente convencional, comparable a la diferencia entre los signos “más” y “menos” en el espacio. Tanto Hermann Weyl como Cassirer veían en la teoría de la relatividad una confirmación de la idea de Kant acerca de la idealidad del tiempo: el tiempo siendo solamente una forma de nuestra percepción, no puede ser aplicado a las “cosas en sí”.<sup>337</sup>

Pero para Einstein es un error interpretar la fusión espaciotemporal relativista en clave de espacialización del tiempo. La espacialización del tiempo tiene su origen en el modo de pensamiento tradicional iniciado con la escuela eleática y distorsiona el verdadero significado de la teoría de la relatividad por lo que es más correcto hablar de una temporalización o dinamización del espacio, lo que tampoco significa una reducción del espacio al tiempo sino, más bien la visión del espacio en tanto que algo que está en constante transformación. Según Capek -que sigue la estela dibujada por Bergson en la denuncia del intento históricamente más reciente de eliminar el tiempo y la sucesión- la teoría de la relatividad ha hecho fracasar el intento de someter el tiempo al espacio al efectuar, precisamente, la operación contraria.

En definitiva, como señalamos más arriba, hay ciertos tipos de sucesión que siguen siendo tales en cualquier marco de referencia: las sucesiones correspondientes a las series causales que, en el contexto relativista, se conocen como *líneas de universo*. Al contrario que la yuxtaposición espacial, la irreversibilidad de las líneas

---

<sup>336</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 183.

<sup>337</sup> CAPEK, M. *op. cit.* pp.171-172.

universales no es relativa sino absoluta y posee realidad objetiva independientemente del sistema de referencia desde el que se observen los acontecimientos. Esto pone de manifiesto la primacía ontológica que adquiere el tiempo sobre el espacio de la mano de la teoría de la relatividad especial.<sup>338</sup>

Cuando se descubrió la velocidad finita de la luz se hizo patente que la simultaneidad de sucesos distantes no puede ser nunca percibida realmente sino únicamente inferida. Para la física clásica dos sucesos son simultáneos cuando son percibidos al mismo tiempo por observadores inmóviles situados a la misma distancia de ambos sucesos. Sin embargo, esta definición de simultaneidad se considera hoy incorrecta por incurrir en circularidad. “El concepto de simultaneidad absoluta, que ha de ser definido, aparece *dos veces* en la definición: primero, en la hipótesis de que un observador se halla en reposo con respecto al espacio absoluto; después, en el propio concepto de distancia”.<sup>339</sup> Pero, además, cuando a esto se añadió la constatación de que la velocidad de la luz, no sólo era finita, sino que también era constante, la simultaneidad de sucesos distantes no sólo no se percibe sino que tampoco es inferible. Si persistimos en inferirla obtenemos diferentes resultados en diferentes ángulos de referencia. Como ningún sistema de referencia tiene un carácter privilegiado en la física relativista, ninguno de los correspondientes observadores tiene derecho a afirmar que su propia simultaneidad es la única verdadera. Lo más adecuado, dice Capek, sería eliminar del todo el concepto de simultaneidad como una propiedad predicable de la realidad.

La irreversibilidad absoluta de las *líneas universales*, que es una de las consecuencias de la teoría de la relatividad refuerza todavía más la primacía ontológica de lo temporal puesto que apuntala su carácter unidireccional. Y, así como el intervalo temporal que separa dos acontecimientos en su sistema propio constituye un límite inferior, también hay un límite para la dilatación del intervalo temporal ya que no es posible alcanzar la velocidad de las ondas electromagnéticas.

Con la eliminación del espacio absoluto y, por ende, del movimiento absoluto desaparece cualquier justificación para privilegiar un sistema sobre cualquier otro como sistema de referencia inercial, lo que los hace a todos ellos perfectamente equivalentes. Y esto tiene como consecuencia lógica la reciprocidad de los efectos

---

<sup>338</sup> En este sentido Capek propone la expresión *tiempo-espacio* como más adecuada que *espacio-tiempo*, cuyo uso se ha generalizado.

<sup>339</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 200.

relativistas de dilatación temporal y contracción espacial entre los diferentes sistemas inerciales, reciprocidad que es la propia esencia de la teoría de la relatividad especial.

La teoría de la relatividad ha dado lugar a numerosas polémicas en torno a varios de los aspectos novedosos de sus principios. Uno de ellos gira en torno a la distinción entre realidad y apariencia y a este respecto algunos físicos -como Max Born (1882-1970)<sup>340</sup>- defendían que en el contexto de la relatividad especial no es pertinente establecer una distinción entre realidad y apariencia, lo que implicaba que ni siquiera el tiempo propio tenía el privilegio de ser más real que los tiempos impropios. En esta misma línea, A. D'Abro<sup>341</sup> opina que la duración de las cosas y de los sucesos percibidos no es algo que se deba atribuir a las mismas cosas sino que más bien se trataría de una cuestión relativa a la perspectiva y, por este motivo, no tiene sentido considerar que una de las duraciones es más real o verdadera que las otras. Ambos planteamientos parecen presumir que la distinción entre realidad y apariencia es contraria a la esencia de la teoría de la relatividad ya que incidir en esta distinción supone la afirmación de que hay un sistema privilegiado. Frente a esta interpretación, Capek considera que "incluso un relativista no duda de que *todo observador se halla en reposo con respecto a sí mismo* sin identificar necesariamente su propia inmovilidad respecto a sí mismo con la inmovilidad absoluta del espacio newtoniano".<sup>342</sup> Por lo tanto, continua su crítica en alusión directa al ejemplo utilizado por D'Abro,

no es correcto afirmar que el status de duración respectiva o tiempo local es aproximadamente tan subjetivo como el de las propiedades secundarias; por el contrario, pertenece a la *propia naturaleza* del proceso físico que constituye el objeto en sí. La duración propia de cualquier proceso físico debe ser considerada, por tanto, como *núcleo causal* de todas las otras duraciones "dilatadas", o, aún más concisamente, las duraciones propias *parecen* ser alargadas en otros ángulos de referencia, ajenos al suyo, por el efecto de la "perspectiva de la velocidad".<sup>343</sup>

La célebre paradoja de los gemelos -experimento mental propuesto por Langevin para poner de manifiesto algunas contradicciones que se desprendían de la teoría de la relatividad- considera dos gemelos, uno de los cuales es transportado en un

---

<sup>340</sup> BORN, M. *Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalische Grundlagen*. Berlín: 1921, p. 189, mencionado en CAPEK, M. *op. cit.* p. 206.

<sup>341</sup> D' ABRO, A. *The evolution of scientific thought from Newton to Einstein*. Dover Pub. Inc. New York, 1950, p. 214, citado en CAPEK, M. *op. cit.* p. 207.

<sup>342</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 207.

<sup>343</sup> CAPEK, M. *op.cit.* p 208.

cohete al espacio a una velocidad cercana a la de la luz y vuelve a la Tierra. Puesto que, según la teoría de la relatividad especial, para el que va a una velocidad cercana a la de la luz el tiempo se ralentiza, cuando el gemelo viajero se reúne con su hermano, si para el primero han pasado dos años, el gemelo que se ha quedado en Tierra ha envejecido cincuenta. Pero -y he aquí la paradoja- dada la simetría o reciprocidad de los dos sistemas en movimiento relativo que es característica de la teoría de la relatividad, se puede considerar que el cohete en el que viaja está en reposo y es la Tierra la que se aleja de él para luego regresar y, así, desde este punto de vista, el gemelo de la Tierra permanecería mucho más joven que el que se halla en el interior del cohete una vez celebrado su reencuentro.

Sin embargo, -señala Capek, de acuerdo en esto con Bergson- los dos intervalos de tiempo, el del viajero y el del observador terrestre, se encuentran limitados por los mismos momentos sucesivos -el de la separación y el del reencuentro-, lo que los hace necesariamente contemporáneos y, por tanto, son el mismo intervalo de tiempo a pesar de que en uno y otro caso éste varía en cuanto a las unidades que resultan en su métrica. Los dos acontecimientos pertenecen a las líneas universales de los dos observadores y, por lo tanto, su orden de sucesión es el mismo en cualquiera de los dos sistemas en los que se consideren. Así pues,

se suponía que el tiempo de la física clásica tenía que ser *uno* para asegurar el carácter *sin crónico* o *contemporáneo* de todos estos cambios y movimientos diferentes. En este punto, y sólo en este punto, la conversión cósmica universal que subyace en las series temporales discordantes relativistas es comparable al tiempo clásico que, según Newton, subyace en diversos tiempos relativos medidos por cambios físicos concretos.<sup>344</sup>

En definitiva, en cierto sentido, el tiempo de la física newtoniana, que se suponía único -y, gracias a ello, garante de la sincronía y contemporaneidad de toda la diversidad de ritmos que en la naturaleza pudieran darse-, no es tan distinto de la *conversión cósmica universal* que subyace a la multiplicidad de tiempos de la relatividad especial. Sin embargo, aun admitiendo que la teoría de la relatividad requiere y presupone un tiempo universal, éste es universal en un sentido muy distinto del que lo es el tiempo absoluto del paradigma clásico.

---

<sup>344</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op.cit.* p 221.

## CAPÍTULO 5

### LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL

#### 5.1 La relatividad general

Según la ley de la inercia de la física clásica, un cuerpo permanece en su estado de movimiento o reposo mientras no sea sometido a ninguna fuerza exterior; pero decir que sobre un cuerpo no actúan fuerzas exteriores significa que el cuerpo se mueve en un sistema inercial con movimiento uniforme, lo que constituye una definición circular. Puesto que se considera en movimiento a un cuerpo cuando éste cambia de posición con respecto a otro, en física clásica sólo se puede hablar del movimiento absoluto cuando se trata de movimientos no uniformes. Por lo tanto, en los sistemas inerciales –que se definen por tener movimiento relativo uniforme- no es posible detectar el movimiento, no se puede distinguir del reposo -y esto ocurre, como ya hemos señalado aquí, en virtud del principio de relatividad de Galileo, que afirma que las leyes de la física son idénticas en todos los sistemas inerciales -que se encuentran en movimiento relativo uniforme unos respecto a los otros-.

Einstein puso en cuestión si la noción de *sistema inercial* –que es fundamental en la teoría de la relatividad especial- tiene o no un correlato objetivo en el Universo físico: si realmente existe un sistema inercial. Y esto le llevará a plantearse si es posible formular las leyes físicas de manera que se cumplan, no sólo para los sistemas inerciales, sino para todos los sistemas de coordenadas, para los que se mueven con cualquier tipo de movimiento relativo, sea o no uniforme. Ello significará construir una teoría relativista mucho más amplia en la que no habrá lugar para el movimiento absoluto sino únicamente para movimientos relativos pues, ahora, ni siquiera el movimiento relativo no uniforme permitiría privilegiar un sistema sobre los demás. Y la respuesta a esta pregunta es la *teoría de la relatividad general* o *relatividad generalizada*, para la que los sistemas inerciales –considerados en la teoría de la relatividad especial- constituyen un caso límite especial de todos los sistemas de coordenadas que se mueven relativamente de forma arbitraria.

Una de las consecuencias de la teoría de la relatividad afecta directamente a la consideración de la existencia en la naturaleza de acciones instantáneas o inmediatas a distancia, como la que Newton postulaba acerca de la ley de la gravitación. Cuando se habla de acción instantánea a distancia se está hablando de acción a distancia con velocidad de propagación infinita. Pero, como ya señalamos con anterioridad, tanto la teoría como la empiria científicas ya habían mostrado que la velocidad infinita no existe en la naturaleza; que ésta tiene un límite absoluto -que es  $c$ , la velocidad de la luz-. Además, la constatación de que la acción magnética y la inducción eléctrica son progresivas y de que, por lo tanto, dicha progresión requiere tiempo para producirse, no de forma inmediata, sino en el transcurso de un intervalo finito de tiempo, llevará a rechazar la explicación newtoniana de la gravitación universal en términos de acción instantánea a distancia. En este sentido afirma Einstein:

A raíz de un estudio más detenido de los fenómenos electromagnéticos se ha llegado a la conclusión de que no existen acciones inmediatas a distancia. Cuando un imán atrae, por ejemplo, un trozo de hierro, no cabe contentarse con argüir que el imán actúa directamente sobre el hierro a través del espacio intermedio vacío; es preciso imaginar con Faraday que el imán origina siempre en el espacio circundante un algo físicamente real que se denomina "campo magnético". Este campo magnético actúa a su vez sobre el trozo de hierro, de modo que éste tiende a moverse hacia el imán. No expondremos aquí la justificación de este concepto intermedio, en sí arbitrario. Baste indicar que los fenómenos electromagnéticos -en especial la propagación de las ondas eletromagnéticas- admiten una representación teórica mucho más satisfactoria con ayuda de dicho concepto que sin él. De manera análoga se considera la acción de la gravitación.<sup>345</sup>

Einstein publicó una ampliación de la teoría de la relatividad especial -en 1916, once años más tarde de la publicación de aquélla- que denominó *teoría de la relatividad general*. Esta ampliación -que, del dominio de los movimientos uniformes, se extendía al de todos los movimientos, incluidos los movimientos acelerados-, situó el fenómeno de la gravitación y su naturaleza y los conceptos de espacio y tiempo al centro del interés de la ciencia física.

A diferencia de lo que ocurre con el movimiento uniforme, en el movimiento no uniforme acelerado sí se puede distinguir el movimiento del reposo debido a la

---

<sup>345</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op.cit. p. 87.

nueva fuerza que entra en juego en este caso: la llamada *fuerza inercial*. Para visualizar con más claridad lo que encierra este concepto consideremos varias bolas con diferentes masas. Al empujar cada una de ellas observaremos que las más grandes o más masivas requieren un esfuerzo mayor para ser movidas que las más ligeras y, por otra parte, si las empujamos con la misma fuerza, la aceleración comunicada a las más pequeñas es mucho mayor que la que adquieren las que tienen una mayor masa; es decir: a más masa, menos aceleración conseguimos, y viceversa. Se trata de la fuerza inercial. Sin embargo, si en lugar de empujarlas las dejamos caer observamos que todas adquieren la misma aceleración independientemente de su masa. Esto es debido a que las masas más grandes sufren una mayor atracción gravitatoria y existe un equilibrio perfecto entre las dos fuerzas: la fuerza de gravedad y la fuerza inercial. Ambas fuerzas son idénticas -como ya observara Newton- y ambas están asociadas a la masa, por lo que la masa inercial y la masa gravitatoria siempre son iguales.

Einstein recogió y extendió estas ideas en lo que sería conocido después como el *principio de equivalencia* al afirmar que ningún experimento sería capaz de distinguir una masa de la otra. Ilustraremos esta idea con el siguiente ejemplo: imaginemos un observador situado en el interior de un ascensor sin ventanas que se traslada a un lugar del espacio, libre de cualquier influencia gravitatoria, y al que se le imprime una aceleración de  $9.8 \text{ m/seg}^2$  -que es el valor de la aceleración causada por la gravedad en la superficie de la Tierra-. Nuestro observador podría pensar que se encuentra en dicho planeta ya que al soltar un objeto de su mano lo vería caer hacia el suelo del ascensor del mismo modo que lo haría si lo estuviera atrayendo la fuerza de la gravedad de la Tierra. Según el *principio de equivalencia* cualquier acción que realizase ocurriría como si estuviera bajo la influencia del campo gravitatorio de la Tierra y no habría forma de distinguir este campo de la fuerza generada por la aceleración del ascensor. El campo inercial creado por dicha aceleración sería totalmente equivalente al campo gravitatorio. Trasladando esta idea al terreno de la fuerza electromagnética, explica Sommer:

sin *saber* si se cambia o no de lugar en el espacio, es imposible *decidir* cuál de las dos situaciones es la verdadera. Lo mismo sucede con los campos de fuerza eléctrico y magnético. Si el observador ve que una carga eléctrica atraviesa el laboratorio, y *supone* que aquélla es la que está en reposo y éste es el que cambia de lugar en el espacio, *atribuirá* todos los efectos que observe y mida al campo eléctrico de la carga. [...] Si, por el contrario, se considera a sí mismo y a su laboratorio en reposo, y a la carga la considera en movimiento, el campo de fuerza que encuentra, diferente del que

mediría si la carga estuviera inmóvil con respecto a él, lo atribuye a la superposición, sobre el campo eléctrico normal, de un segundo campo, llamado magnético, también emitido por la carga eléctrica en movimiento y que actúa solamente sobre otras cargas, igualmente en movimiento.<sup>346</sup>

Por lo tanto, un mismo fenómeno podría interpretarse como un campo eléctrico simple, o bien, como un campo magnético superpuesto a aquél, en función de si atribuimos el reposo o el movimiento al sistema de referencia. En definitiva, con la ampliación o generalización de su teoría de la relatividad a los movimientos acelerados Einstein estaba desarrollando también una nueva teoría de la gravedad.

La primera publicación de la teoría de la relatividad general de Einstein ya contenía el principio de equivalencia, principio que le sirvió para demostrar que el movimiento acelerado tampoco es absoluto: todo movimiento, incluido el movimiento acelerado, es relativo. Otra forma de expresar esta idea es que, si bien la fuerza inercial puede considerarse efecto de la aceleración experimentada por nosotros con respecto al Universo, la fuerza gravitatoria, por su parte, sería efecto de la aceleración del resto del Universo con respecto a nosotros.

Ante la interpretación newtoniana de la gravedad como un campo que actúa a distancia con influencia instantánea, Einstein propone una interpretación revolucionaria de la gravitación en términos geodésicos. Puesto que según la teoría de la relatividad especial nada puede desplazarse a una velocidad superior a la de la luz, cuando un rayo de luz pasa junto a un objeto muy masivo se curva en su trayectoria –la influencia de la gravedad del objeto masivo no puede aumentar su velocidad, que ya es la máxima-. Pero, más que el rayo, es el espacio a través del cual el rayo se desplaza lo que se deforma, de manera que el rayo sigue de forma natural el camino más corto entre dos puntos dados del espacio, es decir, lo que en matemáticas se denomina una *línea geodésica*. Según esto, la interpretación del movimiento orbital de los planetas alrededor del Sol afirma que éste curva el espacio que le rodea y los planetas del sistema solar se mueven en dicho espacio siguiendo líneas geodésicas que adquieren la forma de órbitas elípticas aunque, en realidad, en el espacio curvo son líneas rectas. En palabras del propio Einstein:

En contraposición al campo eléctrico y al magnético, el campo gravitatorio exhibe una propiedad sumamente curiosa que reviste una importancia fundamental para lo que vamos a exponer a continuación. Los cuerpos que se mueven bajo la sola acción del

---

<sup>346</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. op. cit.* pp. 157-158.



campo gravitatorio experimentan una aceleración *que no depende lo más mínimo ni del material ni del estado físico del cuerpo*. Dentro del campo gravitatorio (y en ausencia de aire) un trozo de plomo y un trozo de madera, por ejemplo, caen exactamente del mismo modo al dejarlos en libertad con la misma velocidad inicial o bien sin velocidad inicial alguna.<sup>347</sup>

Puesto que la experiencia muestra que la aceleración característica del movimiento de caída de los cuerpos es siempre la misma, es necesario que la relación entre la masa pesante y la masa inercial sea siempre la misma para cualquier cuerpo. De lo que se desprende que ambas son también lo mismo:

La antigua mecánica ciertamente *registró* este importante principio, pero no lo *interpretó*. Una interpretación satisfactoria sólo puede obtenerse reconociendo que: la misma cualidad del cuerpo se manifiesta, según las circunstancias, como “inercia” o como “peso”.<sup>348</sup>

La aceleración de la caída es totalmente independiente de la masa del cuerpo que cae y precisamente fue esto lo que reveló la igualdad entre la masa inercial y la masa gravitacional; igualdad que, así como para la mecánica clásica era accidental, en la teoría de la relatividad general es tan esencial que constituye la base de toda su argumentación. El movimiento acelerado y el campo gravitacional existen para el observador exterior a un sistema de coordenadas mientras que para el observador interior a este sistema hay reposo y ausencia de dicho campo. Pero gracias a la equivalencia entre la masa gravitacional y la masa inercial podemos establecer una descripción que sea válida para ambos observadores y ello permite a Einstein ampliar la aplicación del principio de la relatividad a sistemas de referencia con movimiento relativo de traslación, ya no sólo uniforme sino también acelerado, dando lugar a lo que se daría en llamar la *teoría general de la relatividad*:

Téngase muy en cuenta que la posibilidad de concebir las cosas de este modo descansa en la propiedad fundamental del campo gravitatorio de comunicar a todos los cuerpos la misma aceleración, o lo que viene a significar lo mismo, en el principio de la igualdad de las masas inercial y pesante.<sup>349</sup>

En consecuencia, podemos pensar la masa de dos formas: en tanto que *masa inercial* se trata de la masa que se resiste al cambio -en lo que respecta a su estado

---

<sup>347</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. p. 88.

<sup>348</sup> EINSTEIN, A. *Ibid.*

<sup>349</sup> EINSTEIN, A. op. cit. p. 90.

de movimiento-; en tanto que *masa gravitacional*, es la masa que determina la fuerza de la gravedad. La equivalencia de la masa inercial y la masa gravitacional sugería que ambas fuerzas -inercia y gravedad- también están relacionadas.

Así, pues, éste es el principio fundamental de la teoría de la relatividad general: el *principio de equivalencia* según el cual los observadores no pueden distinguir localmente entre fuerzas inerciales debidas a la aceleración y fuerzas gravitacionales debidas a la presencia de un cuerpo masivo. Gravedad y aceleración son indistinguibles en sus efectos: una fuerza gravitacional puede ser producida por una aceleración en el espacio y viceversa.

Este principio imponía una nueva descripción de la gravedad que, relacionando gravedad, inercia, aceleración y curvatura del espacio-tiempo, incorporaba conceptos nuevos: la fuerza de la gravedad es un efecto del espacio-tiempo ya que la presencia de una masa distorsiona o curva el espacio-tiempo que, a efectos de un observador, se manifiesta como una fuerza gravitatoria. En consecuencia, afirma Einstein que, en líneas generales,

De acuerdo con la teoría general de la relatividad, las propiedades geométricas del espacio no son independientes, sino que están condicionadas por la materia. Por consiguiente, sólo podremos extraer conclusiones acerca de la estructura geométrica del universo si basamos nuestras consideraciones en el estado de la materia como algo conocido.<sup>350</sup>

La masa de la Tierra, por ejemplo, curva el espacio-tiempo en sus proximidades, y la masa de nuestros cuerpos responde siendo atraída hacia el centro de la Tierra. De hecho, todas las masas deforman el espacio-tiempo en una cantidad que depende del valor de su masa, es decir, todo objeto está rodeado por un campo gravitatorio cuya intensidad depende de la masa de dicho objeto. La gravedad es, pues, un producto de la acción de masas en un sistema de coordenadas espacio-temporales.

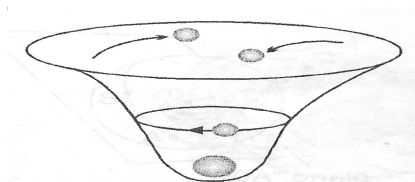


Figura 3. Trayectoria descrita por el movimiento de los cuerpos situado en la zona de una superficie elástica tensada por un cuerpo con masa

<sup>350</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. p.91.

Así, la curvatura del espacio-tiempo viene a explicar ahora lo que Newton explicaba como la *acción a distancia* de la gravedad: la masa curva el espacio-tiempo y la curvatura se manifiesta en nuestro espacio tridimensional como una fuerza de atracción entre las masas que llamamos *gravedad*.<sup>351</sup>

### 5.1.1 El tiempo de la relatividad general

En lo que se refiere al transcurso del tiempo, la teoría de la relatividad general predice que los relojes situados en un campo gravitatorio de fuerte intensidad irán más lentos que los relojes situados fuera de dicho campo; y esto debido, no a que la gravedad actúe sobre los engranajes de los relojes sino porque el tiempo en sí mismo pasa más lentamente dentro de una región curvada del espacio-tiempo que en otra de menor curvatura.<sup>352</sup>

Así pues, según la teoría de la relatividad general la acción del campo gravitatorio - o, lo que es lo mismo, la curvatura del espacio-tiempo- causa la dilatación del tiempo. Pero esta dilatación del tiempo en los campos de gravitación es de un tipo distinto a la de la teoría de la relatividad especial: mientras que en la relatividad especial la dilatación del tiempo consiste en una simple distorsión debida a la perspectiva que resulta del movimiento relativo de dos sistemas inerciales, y es, por lo tanto, perfectamente recíproca en ambos sistemas, en la relatividad general se trata de una modificación real del propio tiempo local y aquí no hay reciprocidad.

Así pues, en las teorías de la relatividad de Albert Einstein la dilatación temporal del tiempo se manifiesta en dos circunstancias: en la teoría de la relatividad especial, un reloj situado en un sistema en movimiento relativo uniforme con respecto a un sistema de referencia inercial debería funcionar más despacio que un reloj situado en el sistema de referencia considerado en reposo. Se trata de la dilatación del

---

<sup>351</sup> Esta descripción de la gravedad explica la mayoría de los fenómenos astronómicos, como los agujeros negros, cuya alta concentración de masa en un pequeño volumen curva el espacio-tiempo con tal intensidad que incluso la trayectoria de la luz se curva sobre sí misma haciendo imposible su emisión hacia el exterior de la masa; un agujero negro es una región del espacio completamente curvada sobre sí misma.

<sup>352</sup> Es como si con una pequeña varilla metálica tomásemos medidas de un enorme disco cuya parte central se encuentra a una temperatura muy baja en comparación con las demás áreas del disco. Al medir el diámetro del disco la varilla se contraería por el frío en la zona central del disco y cabría más veces en éste, con lo que daría una relación de perímetro a diámetro menor que  $\pi$ . Pero lo mismo ocurriría si el centro del disco estuviera hundido o abombado en lugar de frío, porque debido a la curva del abombamiento, la varilla, en este caso sin experimentar contracción, también cabría más veces en el diámetro e igualmente daría un valor inferior a  $\pi$  para la relación entre el perímetro y el diámetro.

tiempo por velocidad relativa, efecto descrito con precisión por las ecuaciones de transformación de Lorentz. Por otra parte, en la teoría de la relatividad general, los relojes que estén sometidos a campos gravitatorios de mayor intensidad marcan el tiempo a un ritmo más lento que los que están situados en un campo gravitatorio menos intenso. Es decir, que el tiempo propio medido por un observador A en reposo sobre la superficie de un planeta es menor que el tiempo propio medido por otro observador B en reposo respecto al primero pero situado a mayor altitud.

Por lo tanto, reiteramos, mientras que en la relatividad especial, la dilatación del tiempo es recíproca ya que consiste en un efecto de perspectiva entre dos sistemas, la dilatación gravitacional del tiempo no lo es: un observador situado a una distancia considerable del centro de gravedad de la Tierra observará que los relojes del suelo marcan el tiempo más lentamente, y los observadores del suelo estarán de acuerdo con esta conclusión ya que, en efecto, constatarán que sus relojes funcionan con mayor lentitud que los de arriba.

Y esta dilatación de tiempo local está directamente relacionada con el fenómeno de contracción de los cuerpos en movimiento, cuya explicación gira en torno al concepto de *campo*: todo cuerpo es una estructura formada por partículas que, a su vez, también son estructuras de la materia y de la energía, cuyos elementos últimos, igual que ellos mismos, se mantienen separados unos de otros a ciertas distancias; y estas distancias están determinadas por el equilibrio entre fuerzas antagónicas. Así, pues, en los cuerpos materiales en movimiento ocurre que

los campos de fuerza alrededor de sus elementos son como si les acompañaran los que emiten en reposo, pero más cortos en la dirección de avance. Como consecuencia de ello, las distancias de equilibrio resultan más cortas y todo el conjunto reduce su longitud. En resumen: todo cuerpo se acorta en la dirección en que se traslada en el espacio, tanto más cuanto mayor sea su velocidad absoluta.<sup>353</sup>

Alrededor de cada elemento material actúan campos de fuerza en los que, dentro de cierta distancia, predominan las fuerzas de rechazo y a partir de ahí, prevalecen las de atracción. El punto donde ambas fuerzas se compensan define la posición de equilibrio que es la distancia a la que se mantendrán de un modo estable los elementos de la estructura. Si un cuerpo está en movimiento de traslación, todos los campos de fuerza y energía potencial alrededor de cada uno de sus elementos son, también, más débiles delante y detrás de los mismos y en consecuencia todas las

---

<sup>353</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. op. cit.* p. 121.

posiciones de equilibrio se acercan entre sí en la dirección del movimiento y la estructura se acortará en ese sentido.<sup>354</sup>

En consecuencia, todo cuerpo físico o sistema que se traslada, se acorta y adquiere más inercia cuanto mayor es su velocidad con relación al espacio: al tener más inercia el ritmo de emisión de fuerzas disminuye y con él disminuyen todos los ritmos, -el de las moléculas que participan en una reacción química, el de los procesos biológicos y el de cualquier mecanismo o sistema de partes móviles, como un reloj, las moléculas en una célula, los electrones en un átomo, etc.-. Así, por ejemplo, cuando en el seno de un sistema que recorre el espacio -como un vehículo en movimiento- cambia de lugar un reloj o mecanismo cualquiera, éste se desfazará más o menos, adelantándose o atrasándose, según la dirección del movimiento del reloj con respecto a la dirección del movimiento de traslación del sistema en el que se encuentra.

Así pues: todo cuerpo se acorta en la dirección en que se traslada en el espacio, tanto más cuanto mayor sea su velocidad absoluta y, debido al aumento de su inercia todos los movimientos en las partes de una estructura que recorre el espacio se hacen tanto más lentos cuanto mayor es su velocidad absoluta. Ambos efectos están relacionados de forma que son, en realidad, dos aspectos del mismo fenómeno.

El factor de acortamiento de una estructura que recorre el espacio es igual al de la disminución de sus ritmos propios. Este factor se designa con la letra griega *gamma*, y aumenta desde el valor 1 para el estado de reposo hasta un valor infinito para la velocidad límite *c*. Si un cuerpo pudiera alcanzar la velocidad límite se haría infinitamente corto, infinitamente pesado e infinitamente lento en sus ritmos propios; esto es lo que significa un factor *gamma* infinito.<sup>355</sup>

Si en un sistema que se encuentra en movimiento absoluto y que contiene dos relojes sincronizados impulsamos cada uno de los relojes en dirección contraria - uno en la misma dirección que el movimiento del sistema y el otro en la dirección contraria- las consecuencias para cada uno de ellos serán distintas: mientras uno se hará más corto, más pesado y más lentos sus ritmos, al segundo le ocurrirá lo contrario: se volverá menos corto, menos pesado y menos lento en sus ritmos que

---

<sup>354</sup> Por lo tanto, la vara que llamamos metro o cualquier otra estructura, tendrá longitudes absolutas diferentes a velocidades también diferentes.

<sup>355</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. ibid.*

antes de ser impulsado. Por consiguiente, los dos relojes se alejarán de su punto de partida a velocidades diferentes y se desfazarán progresivamente. Por el contrario, si el sistema se encontrara en reposo absoluto:

Como un cuerpo quieto en el espacio sólo puede ganar movimiento, en cualquier dirección que se impulse se comportará simétricamente. Así, dos relojes que estando en reposo absoluto reciban igual impulso en direcciones contrarias alcanzarán la misma velocidad y reducirán su longitud y sus ritmos en igual medida. En consecuencia, siempre se mantendrán sincronizados y llegarán al mismo tiempo a distancias iguales de donde partieron.<sup>356</sup>

Así, un sistema en reposo absoluto se comporta simétricamente: la energía lo recorre a igual velocidad en todas direcciones y al coordinar sus relojes por cualquier procedimiento, éstos quedan sincronizados mientras que un sistema en movimiento absoluto se comporta asimétricamente: hay alguna dirección en la que la energía tiene que perseguirlo mientras que en la dirección contraria va a su encuentro, y al coordinar sus relojes éstos quedan tanto más desfasados cuanto mayor es la velocidad absoluta del sistema.

Y esta asimetría “se debe a que requiere más intercambio de energía un aumento de la velocidad absoluta que una disminución igual de la misma”,<sup>357</sup> aunque el movimiento relativo sea el mismo. Sin embargo, es precisamente a causa de este comportamiento asimétrico de una estructura en movimiento absoluto que todos los sistemas con velocidades diferentes se encuentran simétricos a sí mismos, y asimétricos a los demás.

Ya antes de Einstein, el gran físico Poincaré dijo que parecía como si todo se confabulase para ocultar el movimiento absoluto, y añadió, con gran acierto, que una conspiración así equivalía a una ley general de la naturaleza: en este caso, el principio de relatividad. En realidad no es más que la consecuencia de que materia y energía sean una misma cosa.<sup>358</sup>

Si Galileo había descubierto la inercia de la materia y el descubrimiento de Newton fue su fuerza de gravitación, la gran aportación de Einstein fue la equivalencia entre materia y energía.

---

<sup>356</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. ibid.*

<sup>357</sup> SOMMER, H. *op. cit.* p. 141.

<sup>358</sup> SOMMER, H. *op. cit.* p. 133.

El factor de contracción de los cuerpos y el de variación de los ritmos es el mismo que el del aumento de inercia debido a que todo ello depende directamente del contenido de energía. Este factor –o *gamma*– es lo que expresa matemáticamente el comportamiento relativista. El principio de inercia de la energía exige que, en un sistema en movimiento de traslación, “cualquier cosa que se haga para conseguir la sincronización de relojes separados, los dejará inevitablemente desfasados entre sí y, por otro lado, el principio de relatividad exige que eso no sea comprobable de ninguna manera”.<sup>359</sup> Y ambos principios son compatibles.

En este sentido, Herbert Sommer considera que, precisamente esto pone de manifiesto el carácter absoluto de entidades como el espacio, el tiempo y, por tanto, el movimiento.

Lo único relativo son los resultados de las medidas que incluyen intervalos aparentes, debido a la particular interpretación que cada sistema da a su propia situación.

Por eso, la teoría de la relatividad física debería llamarse, con mayor propiedad, teoría de la *invariancia* de las leyes físicas. Porque, en realidad, lo que la teoría estudia es precisamente lo absoluto: aquello en lo que están todos de acuerdo. Partiendo de la convicción de que no es posible *identificar* al sistema de referencia que está inmóvil en el espacio, la teoría estudia la forma en que debe estar expresada una ley física para que la encuentren igual todos los sistemas observadores, cualquiera que sea su velocidad o aceleración. Pues sólo una ley invariante, que por ser igual en todas las circunstancias no permita identificar el reposo absoluto, puede ser general.<sup>360</sup>

## 5.2 El espacio-tiempo relativista

Si elevamos nuestra mirada a nivel cosmológico la consecuencia de la teoría de la relatividad general es la *curvatura* del universo; y en la intensidad y forma de esta curvatura tiene una gran influencia la cantidad de masa total contenida en él. Esto significa que, de acuerdo con la teoría de la relatividad general, las propiedades geométricas del espacio ya no son independientes de la materia sino que, por el contrario, la materia determina su estructura, por lo que, ahora, la geometría euclidiana pierde validez como escenario fundamental para la descripción del universo y sus fenómenos físicos. A pesar de ello señala Einstein:

---

<sup>359</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. op. cit.* p. 136

<sup>360</sup> SOMMER, H. *op. cit.* pp. 165-166.

Pero lo que sí es concebible es que nuestro universo difiera poco de un universo euclídeo, y esta concepción es tanto más probable cuanto que, según los cálculos, incluso masas de la magnitud de nuestro Sol no afectan sino en grado mínimo a la métrica del espacio circundante. Cabría imaginar que en el aspecto geométrico nuestro universo se comporta de modo análogo a una superficie que se curva irregularmente en sus diversas partes, pero que en ningún punto se aparta sustancialmente de un plano, como por ejemplo, la superficie de un lago, crispada por débiles olas. Un universo de esta especie podríamos denominarlo cuasi-euclideo. En lo que toca al espacio sería infinito.<sup>361</sup>

La teoría predice incluso que en función de la densidad de materia contenida en el universo éste tendrá una estructura cuasi-euclídea si la densidad es nula; pero con una densidad de materia distinta de cero, por muy pequeña que ésta sea, la estructura del universo sería esférica, en el caso de una distribución uniforme de la materia. Siendo que esta distribución no es uniforme, en el universo habrá puntos concretos en los que su comportamiento será el de un universo esférico. Así mismo, la teoría de la relatividad general establece una relación directa entre la extensión espacial del universo y la densidad media de materia en el mismo.

Como señalamos en un capítulo anterior, la mayoría de las propiedades del espacio clásico están relacionadas con su homogeneidad, propiedad ésta que implica la independencia del espacio respecto de cualquier contenido físico y sus cambios. Al no admitir ninguna acción recíproca entre continente y contenido, el espacio era considerado causalmente inerte e indiferente a toda acción física. Ahora, tanto la teoría de la relatividad especial como –y sobre todo– la teoría de la relatividad general, rechazarán esta propiedad del espacio.

Por otra parte, como sabemos, uno de los aspectos que marca una diferencia radical entre la mecánica newtoniana y la teoría de la relatividad es el establecimiento de un límite para la toda velocidad posible en la naturaleza: el de la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas. El concepto de acción o propagación instantánea que afirmaba la física clásica contiene una contradicción en sí mismo: la noción de *velocidad infinita* carece de todo carácter sucesivo; cualquier acción que se propagase a tal velocidad estaría simultáneamente presente en todos los puntos de su camino, es decir, sería atemporal. En este sentido, Milic Capek propone hablar de *conexión* instantánea en lugar de

---

<sup>361</sup> EINSTEIN, A. *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad*. op. cit. p. 91.



*propagación* instantánea. Así, podríamos decir que “el espacio clásico consiste en una red de relaciones o conexiones instantáneas”<sup>362</sup> entre las distancias que separan entre sí los puntos yuxtapuestos. Por tanto, la negación de la noción de propagación –o conexión- instantánea implica la negación del concepto de espacio en el sentido clásico de yuxtaposición de puntos que existen simultáneamente. Con la física relativista se concluye, pues, que

*En la naturaleza no hay velocidades infinitas, o sea, acciones recíprocas físicas instantáneas con todas sus fases en coexistencia simultánea. No hay conexiones instantáneas que unan sucesos-puntos simultáneos distantes. Sólo hay conexiones sucesivas, caracterizando las acciones físicas concretas, y no hay necesidad de extender el espacio pasivo y estático debajo de las acciones recíprocas concretas mediante las cuales se agota la realidad física.*<sup>363</sup>

Y esta transformación de relaciones de sucesión en conexiones instantáneas intemporales tienen su origen en la percepción sensorial: la percepción visual en particular.<sup>364</sup> Y esto –señala Capek- ha llevado a la diferenciación entre lo que se puede considerar como conexiones causales sucesivas -que se producen en el espacio y en el tiempo- y conexiones geométricas instantáneas -que constituyen el propio espacio. Y, a pesar de que esta distinción fue rechazada por la teoría de la relatividad, “todavía tenemos una tendencia a duplicar los eslabones dinámicos concretos entre los sucesos físicos distantes por medio de conexiones geométricas estáticas que se extienden, por decirlo así, bajo las acciones físicas”,<sup>365</sup> lo que vendría a constituir el espacio absoluto newtoniano.

Pero, eliminados el espacio absoluto y la simultaneidad absoluta desaparece cualquier fundamento para mantener tal separación y ello implica que la naturaleza, en última instancia, no es de tipo geométrico sino *cronogeométrico*, lo que significa que los procesos físicos concretos no necesitan ningún recipiente estático en el que suceder.<sup>366</sup>

Así, pues, con la llegada de la teoría de la relatividad general se evidencia esta dinamización del espacio. A la fusión del espacio y el tiempo efectuada por la teoría

<sup>362</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 185.

<sup>363</sup> CAPEK, M. *ibid.*

<sup>364</sup> El lento movimiento de una aguja en la esfera de un reloj o del sol en el cielo no es realmente percibido sino que es inferido; concluimos que se produce cuando vemos sus diferentes posiciones en diferentes momentos. Del mismo modo tampoco son percibidos los movimientos que son excesivamente rápidos, como el de una bala.

<sup>365</sup> CAPEK, M. *op. cit.* p. 187.

<sup>366</sup> CAPEK, M. *op. cit.* p. 188.

de la relatividad especial, la relatividad general añade una nueva: la identificación de materia y energía. Con todo ello el espacio adquiere propiedades que antes se atribuían a la materia, propiedades de carácter dinámico que lo dotarán de una temporalidad nueva.

Mientras que el espacio clásico era vacío, -“si no *de facto*, al menos *de iure*”-<sup>367</sup>, esta distinción entre el espacio y la materia desaparece por completo con la teoría de la relatividad general. Ahora la materia y el espacio se fusionan en una única realidad que es dinámica y con una curvatura que va cambiando a cada momento y que no es igual en todas sus partes. “Los fenómenos de gravitación y de movimiento acelerado en general, que eran interpretados por la física clásica como manifestaciones de *fuerzas* localizadas en el espacio, se deducen, naturalmente, de la curvatura del *continuum* no euclidiano de cuatro dimensiones”,<sup>368</sup> y, así, todo cuerpo físico situado en una curvatura local del espacio-tiempo se mueve con un movimiento acelerado por el hecho de encontrarse en dicha curvatura.

Hay que reconocer, sin embargo, que esta curvatura espaciotemporal es un concepto poco intuitivo. “Aparentemente expresa la idea equivocada de que el efecto de esta curvatura se manifiesta necesariamente en *un cambio de la forma del camino*”,<sup>369</sup> aunque en realidad se trata de un término esencialmente metafórico inspirado en la representación gráfica que ofrece un movimiento no uniforme en un sistema de coordenadas cartesianas.

Así como en el paradigma newtoniano se contemplaba como real el caso de un cuerpo libre de toda acción externa, en la teoría de la relatividad, por el contrario, la curvatura del espacio-tiempo nunca es nula en ninguna parte. Sólo en las zonas que se encuentran muy alejadas de los cuerpos materiales la curvatura es tal que es prácticamente insignificante y se puede considerar que en ellas los movimientos de los cuerpos son –sólo *aproximadamente*- rectilíneos y uniformes. Así como según el paradigma clásico un cuerpo o partícula material sólo opera un cambio en su estado de movimiento si es causado por una fuerza que es ajena al espacio en el que se encuentra y se mueve el cuerpo, por el contrario, según la teoría de la relatividad general todo movimiento –sea uniforme o acelerado- se debe a la propia estructura del espacio-tiempo. Esto significa que la ley de la inercia no es sino un caso particular de la ley de la gravitación universal pues la fuerza de la gravedad es

---

<sup>367</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. ibid.*

<sup>368</sup> CAPEK, M. *op. cit.* p. 189.

<sup>369</sup> CAPEK, M. *ibid.*

reductible a una deformación local del *continuum* de cuatro dimensiones –tres espaciales y una temporal-; y la materia consiste en la presencia local de ciertas singularidades en el continuo espaciotemporal ya que en este nuevo paradigma la materia identifica con su campo gravitatorio, que es su manifestación en el efecto que causa en otros cuerpos y del que no puede ser separada: si eliminamos el campo gravitatorio, eliminamos con él la propia materia y viceversa. Y ésta es otra distinción clásica que hará desaparecer la teoría de la relatividad general: la diferencia entre la substancia material y su acción, entre materia y fuerza, entre la noción de cuerpo y la noción de campo.

En este contexto, por lo tanto, –como apunta Capek- no sería correcto afirmar que la materia *causa* una cierta curvatura en el espacio ya que entre la materia y el espacio no se da una relación de causalidad. La relación que hay entre ambos no es otra que la de identidad: la materia y la curvatura local del espacio son lo mismo.

Por lo tanto, se puede afirmar que en la teoría relativista de la gravitación materia y espacio se funden en una sola realidad espaciotemporal. Esto hace discutible la idea defendida por Bergson de que la teoría de la relatividad general es continuación e incluso culminación de la tendencia cartesiana a reducir la materia al espacio al entenderla como *res extensa*. Más bien al contrario –defiende Capek-, es el espacio el que se reduce a la materia en tanto que la fusión relativista de materia y espacio se cobró la mayoría de las propiedades del espacio clásico. Más aún,

El espacio de la teoría general de la relatividad no sólo no es euclidiano, sino que ni siquiera tiene el carácter de homogeneidad que la teoría de la relatividad especial conservaba aparentemente. Sus diferentes regiones no son cualitativamente equivalentes, puesto que difieren por su curvatura local no euclidiana. Probablemente no es infinito, aunque todavía carece de límites. En él, al contrario que el espacio infinito de Bruno y Newton, son facetas compatibles la falta de límites y la finidad. Se halla indisolublemente unido al tiempo, no sólo a causa de la teoría especial de la relatividad, de la que es una extensión la teoría general, sino también en un sentido todavía más sorprendente: el espacio-tiempo relativista no tiene una estructura rígida, porque su curvatura varía no sólo de lugar a lugar sino también de un momento a otro.<sup>370</sup>

Y ello se debe precisamente a la mencionada dinamización del espacio que consiste en que los cuerpos materiales se desplazan entre sí, unos a otros o, dicho

---

<sup>370</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 193.

de otro modo, se produce un mutuo desplazamiento entre las diferentes deformaciones locales del espacio-tiempo.

Como se ve, nada tiene que ver este espacio-tiempo con la idea clásica del espacio como yuxtaposición simultánea de puntos: ahora hay un continuo no euclidiano, heterogéneo y dinámico que no es aquel receptáculo o contenedor euclidiano, pasivo, homogéneo y estático del paradigma anterior. Así, la teoría de la relatividad general viene a reforzar la síntesis entre el espacio y el tiempo que había efectuado la teoría de la relatividad especial, añadiendo con esta nueva síntesis de contenido y continente –materia y espacio-tiempo- un carácter dinámico mediante la incorporación de la materia.

En cuanto al carácter no euclidiano del espacio-tiempo es importante señalar que, tanto en los modelos euclidianos como en los no euclidianos estáticos subyace la idea de espacio como recipiente, continente preexistente a la materia. Ambos modelos de espacio consisten en ser conjuntos de puntos yuxtapuestos, es decir, simultáneamente existentes, con lo que ambos son espacios independientes del tiempo. Sin embargo, el espacio relativista va más allá pues, dado su carácter dinámico, no se puede separar del tiempo, además de que, según la teoría especial, no hay simultaneidad absoluta; la yuxtaposición absoluta no se da en el universo. Así, como afirma Bertrand Russell en su obra *El análisis de la materia*:

La antigua geometría suponía un espacio estático, cosa que podía hacer porque se suponía que el espacio y el tiempo eran separables. Es natural pensar en el movimiento como si siguiera un camino en el espacio que se encuentra allí antes y después del movimiento: un tranvía se mueve a lo largo de la vía preexistente. Sin embargo, ya no es sostenible esta idea del movimiento. Un punto que se mueve es una serie de posiciones en el espacio-tiempo; un punto posterior que se mueve no puede seguir la misma ruta, puesto que su coordenada temporal es diferente, lo cual significa que, en otro sistema igualmente legítimo de coordenadas, sus coordenadas temporales serán también diferentes. Pensamos en un tranvía como realizando el mismo viaje a diario, porque pensamos en la tierra como si estuviese fija; pero desde el punto de vista del sol, el tranvía nunca repite su viaje previo. “No podemos meternos dos veces en el mismo río”, como nos dice Heráclito.<sup>371</sup>

La intemporalidad del espacio clásico se basaba, pues, en esta distinción entre la materia y el espacio, distinción que, en cuanto se elimina, se lleva consigo la

---

<sup>371</sup> RUSSELL, B. *El análisis de la materia*. Madrid: Ed. Taurus, 1976, pp. 61-62, citado en CAPEK, M. *op. cit.* p. 196.

estaticidad del espacio. En vez de ser reabsorbida la materia en el espacio, sería más exacto hablar de que el espacio se fusiona con su contenido físico variable y dinámico. Esta transformación sería llamada por el astrofísico británico Arthur Stanley Eddington (1882-1944), la *mecanización de la geometría*.<sup>372</sup>

Como hemos visto, la simultaneidad absoluta ya no existe: en el continuo espacio-tiempo no hay secciones transversales que contengan todos los sucesos verdaderamente simultáneos y, por lo tanto, es el concepto de espacio el que más ha perdido con el cambio de paradigma dada su identidad con la totalidad de sucesos simultáneos. La negación de esta yuxtaposición absoluta implica también la negación de aquél: en el escenario relativista, por tanto, no existe el espacio absoluto e inmutable de Newton. En cuanto al concepto de tiempo, como hemos visto, la relatividad especial no afecta a la sucesión de los acontecimientos relacionados causalmente.

Sin embargo, el tiempo, a partir de la teoría de la relatividad general pierde, como el espacio, su carácter homogéneo y uniforme gracias a la fusión con un contenido que es heterogéneo y dinámico. Con la relatividad general también se hacen relativas las mediciones de tiempo y su subordinación a los distintos ritmos en los diferentes campos gravitatorios. Ya no hay en la naturaleza series temporales únicas; el tiempo no transcurre con ritmo uniforme. Sin embargo, a pesar de esta diversidad métrica, sí se puede afirmar la relación de contemporaneidad entre distintas líneas de universo y esta relación de contemporaneidad –que no es métrica sino topológica- constituye la propia esencia del espacio-tiempo relativista. En este sentido el tiempo relativista, aunque métricamente múltiple, continúa siendo topológicamente uno y, así, la relación de contemporaneidad viene a sustituir a la relación de simultaneidad que, en términos de yuxtaposición simultánea conformaba el espacio clásico.

### **5.3 La síntesis entre materia y energía**

Como señala Capek, a las síntesis mencionadas –entre el espacio y el tiempo, primero y, entre el espacio-tiempo y la materia, después- vendrá a sumarse también la síntesis entre el concepto de materia y el de energía. En palabras del mismo

---

<sup>372</sup> EDDINGTON, A.E. *El La naturaleza del mundo físico*. Citado en CAPEK, M. *ibid*.

Einstein, “el antiguo concepto de energía como sustancia imponderable es la segunda víctima de la teoría de la relatividad. La primera fue el medio por el cual se suponía que se propagan las ondas luminosas”.<sup>373</sup>

Como veremos a continuación, cualquier aumento o disminución de energía conlleva esto mismo –un aumento o disminución– en la masa inercial por lo que la masa total de un agregado material ya no es la suma de las masas de sus componentes sino que ahora se incrementa o disminuye según sea liberada o absorbida la energía en el proceso de fusión. Igualmente, en la operación inversa – el proceso de fisión nuclear– la energía es liberada en la aniquilación de una parte de masa. En ambos procesos –la fusión y la fisión– se trata de la transformación de materia en energía. El fenómeno opuesto –la transformación de energía en materia– tiene lugar en las denominadas *reacciones endoérgicas*, en las que la energía es absorbida en vez de ser liberada, lo que tiene como consecuencia el incremento de la propia masa. En este nuevo escenario en el que materia y energía son intercambiables nos encontramos con una amalgama espacio-temporal, continua y sin huecos:

La materia ya no es equivalente al *plenum* o “espacio lleno”, o sea, a ciertas regiones de espacio bien definidas, llenas de “sustancia material” y claramente separadas del vacío intermedio. Por el contrario, la masa se halla ahora muy íntimamente asociada con el medio espacial, o más bien espaciotemporal, circundante, pues está presente en el eslabón energético que une las “partículas”. Así, la distinción entre “lleno” y “vacío” pierde las originales características que le dieron Demócrito y Newton. Esta distinción, ya obscurecida por la teoría especial de la relatividad, fue enteramente eliminada por la teoría general de la relatividad.<sup>374</sup>

Como ya se ha señalado aquí con anterioridad, una de las modificaciones fundamentales que introduce la teoría de la relatividad en las leyes de la mecánica clásica establece que la velocidad de la luz constituye un límite insuperable en la naturaleza. Según la mecánica clásica la fuerza aplicada sobre un cuerpo es proporcional a la variación producida en su velocidad, siendo, sin embargo, indiferente a este resultado cuál sea el valor de la velocidad inicial.<sup>375</sup> Pero según la teoría de la relatividad esta ley sólo es válida para velocidades pequeñas en comparación con la velocidad de la luz. Para velocidades cercanas a la de la luz se

<sup>373</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento. op.cit.* p. 172.

<sup>374</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p.p. 261-262.

<sup>375</sup> Sea la velocidad de un cuerpo de 100 m/s o de 300.000 km/s, es necesaria la misma fuerza para aumentar la misma cantidad de velocidad (de 100 a 110 m/s o de 300.000 km/s a 300.000 km y 10m /seg.)

requieren fuerzas extremadamente grandes para aumentar la velocidad de un cuerpo. Así, cuanto más se acerque la velocidad de un cuerpo a la de la luz más difícil será conseguir aumentar su velocidad. Esto implica que ninguna fuerza finita, por grande que sea, puede causar un aumento de velocidad más allá de un límite, el de la velocidad de la luz. Así, esta ley vendrá a sustituir a la ley de la mecánica clásica que relaciona la fuerza con el cambio de velocidad. Y la causa de ello reside, precisamente, en el reconocimiento de que la energía también tiene masa inercial.

Si la mecánica clásica afirmaba que todo cuerpo resiste al cambio de movimiento y cuanto mayor es la masa tanto mayor es su resistencia -de manera que la resistencia de un cuerpo dado es un valor determinado únicamente por su masa-, la teoría de la relatividad añade que, además, esta resistencia aumenta con el aumento de la velocidad por lo que, además de depender de la masa, depende de la velocidad.<sup>376</sup> De esta constatación concluye Einstein:

La consecuencia anterior sugiere una generalización importante. Un cuerpo en reposo tiene masa pero no energía cinética, es decir, energía de movimiento. Un cuerpo en movimiento tiene masa y energía cinética. Éste resiste al cambio de movimiento más fuertemente que el cuerpo en reposo. Todo sucede, pues, como si la energía cinética de un cuerpo aumentara su resistencia.<sup>377</sup>

Cuando un cuerpo en reposo se pone en movimiento, además de masa, tiene una energía cinética cuya masa inercial incrementa la masa en reposo, por lo que el cuerpo en movimiento ofrece mayor resistencia al cambio de movimiento –es decir, a ser acelerado- que cuando está en reposo. Y no sólo la energía cinética sino toda forma de energía –al igual que la materia ponderable- tiene inercia y, por lo tanto, resiste al cambio.

Para Einstein tanto el incremento de la masa inercial como la modificación de la composición de velocidades se deducían directamente de la fusión del espacio con el tiempo que, aunque no se había hecho explícita, sí se encontraba implícita ya en las ecuaciones de Lorentz. Con la célebre ecuación  $E= mc^2$  Einstein ampliaba el concepto de masa fusionando los conceptos de masa y energía en un solo

---

<sup>376</sup> En el ámbito de las partículas elementales encontramos ejemplos de este principio: los átomos de los cuerpos radiactivos, como los del radio, disparan partículas a velocidades cercanas a la de la luz y su observación ha permitido confirmar muchos de los principios relativistas.

<sup>377</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento. op. cit.* p. 170.

concepto, para el cual sigue siendo válido el principio de conservación, mientras que sendas leyes -la ley de la conservación de masa y la ley de la conservación de la energía- dejan de ser válidas por separado. Ahora, toda energía tiene su masa inercial y viceversa lo que permite atribuir cierta masa a la luz y a la energía electromagnética en general y, por consiguiente, postular que ésta pueda verse afectada también por la influencia de los campos gravitatorios, hecho que luego sería empíricamente confirmado. Con estas palabras describe Einstein el nuevo panorama:

La física clásica introduce dos tipos de sustancias: materia y energía; ponderable la primera e imponderable la segunda. En la física clásica hay dos principios de conservación: uno para la materia, otro para la energía. Ya nos hemos preguntado si este punto de vista subsiste en la física moderna. La contestación es negativa. En efecto, para la teoría de la relatividad no existe una diferencia esencial entre masa y energía. La energía tiene masa y la masa representa energía. En lugar de dos principios de conservación tenemos uno solo, el de conservación de la masa-energía. Esta nueva concepción resultó muy útil y de gran importancia para el desarrollo ulterior de la física.<sup>378</sup>

En este trabajo hemos mencionado en varias ocasiones la contradicción intrínseca que lleva implícita el concepto de instantaneidad o, lo que es lo mismo, acción a distancia, es decir, a una velocidad infinita. Pero esto, velocidad infinita, significa que en un intervalo de tiempo limitado se recorre una distancia infinita; algo que no se da en el universo. Si así fuera, causa y efecto serían dos hechos prácticamente simultáneos y toda la historia de nuestro universo habría sucedido en un solo instante. Pero, veamos a qué obedece esta ley que impide que pueda alcanzarse una velocidad infinita, es decir, por qué existe un límite que ni la materia ni la energía pueden traspasar. En una primera aproximación, se diría que aplicando una fuerza lo suficientemente intensa debería poder alcanzarse cualquier velocidad, pero lo cierto es que, teóricamente, únicamente un cuerpo sin inercia podría alcanzar una velocidad infinita en un tiempo limitado. Veamos cómo ocurre esto.

Si la inercia de un cuerpo fuera invariable ocurriría que la relación entre la fuerza impresa sobre él y la velocidad que éste alcanzara sería siempre la misma y su velocidad iría aumentando linealmente en la misma proporción que el impulso aplicado. Y, en tal caso, no debería haber un límite en el aumento de la velocidad que podría alcanzar un cuerpo. Pero el hecho es que la inercia de los cuerpos no es

---

<sup>378</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento*. op. cit. p. 171.



invariable: a la vez que se le comunica impulso a un cuerpo también se le transfiere energía cinética y, como sabemos, la energía posee inercia; y, por lo tanto, a medida que el cuerpo va acumulando cada vez más energía, su masa inercial también se ve aumentada. Debido a esto, el cuerpo requerirá una cada vez mayor cantidad de energía para impulsar la masa adicional que se va acumulando. Así, puesto que a iguales aumentos de energía le corresponden incrementos cada vez menores de velocidad, llega un punto en el que la inercia tiende a valores infinitos, lo que hace imposible conseguir ningún nuevo aumento apreciable de velocidad -ni siquiera aplicando un impulso infinito- por lo que queda anulada su aceleración. “Por lo tanto, puesto que no es posible hacer crecer ilimitadamente la velocidad, ésta tiene que alcanzar necesariamente un valor máximo que puede llegar a ser muy grande, pero no infinito”.<sup>379</sup>

El punto en el que la velocidad correspondiente ya no se puede alcanzar más que con un impulso de valor infinito viene representado por  $c$ , que denota la velocidad límite. La velocidad que más se aproxima a la velocidad límite  $c$  es la que alcanza la luz y, en general, toda forma de energía al recorrer el espacio vacío.<sup>380</sup> En palabras de Einstein,

Cuanto más se acerque la velocidad de un cuerpo a la velocidad de la luz, tanto más difícil será aumentarla. ¿Cuánto le es igual? Todo aumento ulterior resulta imposible. Esta modificación introducida por la teoría de la relatividad no nos puede sorprender, ya que la velocidad de la luz es un límite insuperable para todas las velocidades. Ninguna fuerza finita, por grande que sea, puede causar un aumento de velocidad, más allá de dicho límite. En lugar de la ley de la mecánica clásica que relaciona la fuerza con el cambio de velocidad, aparece en la relatividad una ley más complicada.<sup>381</sup>

En este sentido, se puede afirmar que la energía es el cuerpo físico con el nivel más bajo de inercia que se conoce. Tanto que el menor impulso en cualquier dirección le hace alcanzar velocidades próximas a  $c$ . Pero si el impulso recibido es muy grande la velocidad que alcance también estará en valores muy próximos al límite ya que es imposible sobrepasarlo. Es decir, que cualquiera que sea la intensidad del

---

<sup>379</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. op. cit.* p. 92.

<sup>380</sup> La imposibilidad de alcanzar y, por ende, superar la velocidad límite  $c$  como consecuencia de la inercia que se acumula al ir acelerando un cuerpo ha sido confirmada experimentalmente y se ha establecido –como ya indicamos más arriba- en 299.792.458 metros por segundo aproximadamente –unos 300.000 kilómetros por segundo o, también, unos mil millones de kilómetros por hora.

<sup>381</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento. op. cit.* pp. 168-169.

impulso que reciba la energía, siempre alcanza en el espacio vacío velocidades muy cercanas al valor  $c$ . Es por ello que se afirma que la luz –que es energía en movimiento- viaja a la velocidad constante  $c$ , aunque en realidad su velocidad varía en una medida casi imperceptible en función del impulso que recibe. Debido a esto se ha establecido que  $c$ , además de ser un límite de velocidad, es un valor constante, aunque esto no es exactamente así.

Antes de conocerse la inercia de la energía, y la consiguiente velocidad límite, no se disponía de una explicación satisfactoria para el comportamiento de la luz y, en consecuencia, se supuso que ésta es la ondulación de un medio material muy tenue, prácticamente imperceptible, que entonces se llamó *éter luminífero*. Así, la luz se interpretaba como olas en un mar de éter. Pero, hoy en día, ya no necesitamos ese recurso, porque tenemos la explicación: la velocidad límite debida a la inercia de la energía.<sup>382</sup>

Del mismo modo que las ondas del sonido o las ondas producidas en el agua, también la luz viaja a una velocidad determinada que, salvo diferencias infinitamente pequeñas, no depende de la velocidad de su fuente emisora pero, así como en las primeras la velocidad depende del medio en que se trasladan –el aire o el agua- en el caso de la energía no existe ningún medio en el que ésta se pueda propagar y que condicione su velocidad. La energía no se *propaga* sino que se *traslada* como se traslada un cuerpo. La energía “se traslada *ella misma* como un cuerpo a través de la nada, y el que su velocidad aparezca como independiente de la de su fuente se debe únicamente a que la influencia de ésta repercute en variaciones que, por estar infinitamente próximas al límite máximo, lo están también entre sí y hacen inapreciable la diferencia”.<sup>383</sup> Por otra parte, nos podemos preguntar, con Sommer, “¿por qué la velocidad máxima alcanzable es de 300.000 kilómetros por segundo y no otro valor cualquiera?” Como este autor señala, este valor concreto “ya es un valor cualquiera”. Se trata del valor que

viene determinado por la inercia que posee una unidad de energía. La relación entre una cantidad cualquiera de energía y su propia inercia es precisamente el valor  $c$  elevado al cuadrado. Eso es lo que determina que esa cantidad de energía no pueda sobrepasar la velocidad  $c$ . Si la inercia de la energía fuese mayor o menor, entonces la velocidad límite sería menor o mayor que la que conocemos. Y, si la energía no poseyera inercia alguna, su velocidad sería infinita.<sup>384</sup>

---

<sup>382</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. op. cit.* p. 98.

<sup>383</sup> SOMMER, H. *ibid.*

<sup>384</sup> SOMMER, H. *ibid.*

Así pues, el hecho de que exista una proporcionalidad entre la energía y su inercia tiene como consecuencia que haya un límite de velocidad en el mundo físico y el valor concreto de esta velocidad,  $c$ , depende del valor concreto de esta proporción.

Esta identidad entre las nociones de masa y energía implica también que los criterios que distinguen la noción de materia del concepto de campo no son de naturaleza cualitativa sino que se trata, más bien, de una cuestión de grado: así como la materia es la alta concentración de energía, el campo rodea toda partícula también es energía, aunque en un nivel muy bajo de concentración; y otro tanto ocurre con el concepto de partícula cuya delimitación se ha tornado problemática, tanto teórica como experimentalmente. En este sentido, gracias a los espectaculares resultados que la adopción del concepto de campo proporcionó a la ciencia física, Einstein llegó incluso a cuestionar la utilidad del concepto de materia, que podría ser sustituido por el más adecuado concepto de campo. Y, siguiendo esta línea abarcadora, del mismo modo que la teoría de la relatividad general incluía y completaba la explicación proporcionada por la teoría de la relatividad especial, al ampliar su dominio a cualquier tipo de movimiento, Einstein se planteaba la unificación de los campos electromagnéticos y gravitatorios en una sola teoría de campos, del mismo modo que había ocurrido con los campos eléctricos y magnéticos cuando se descubrió que no eran más que distintas manifestaciones de un mismo campo, el campo electromagnético.

Si comparamos ambos campos, observamos que los dos requieren de una fuente: el campo gravitatorio, la materia y, el campo electromagnético, una carga eléctrica. Si imprimimos un movimiento oscilatorio a una carga, el campo eléctrico variable existente a su alrededor genera un campo magnético, y la combinación de ambos se desplaza por el espacio en forma de onda electromagnética. Por otra parte, si imprimimos un movimiento oscilatorio a una masa, se propaga por el espacio una onda gravitatoria. También se asemejan los dos campos en la forma como varía su intensidad en torno a la fuente. En ambos casos, se va intensificando el campo hasta que, en el mismo centro se hace infinito, dando lugar a lo que se conoce como una *singularidad*. En este aspecto, Einstein se ha manifestado radicalmente contrario al mantenimiento de la dualidad corpúsculo / campo. Como afirma Capek,

Einstein consideraba las "partículas" como meras anomalías del campo físico continuo. Es este último el que constituye la realidad básica; su discontinuidad aparente es explicable en términos de estructura continua. Este convencimiento básico explica la

persistente búsqueda por parte de Einstein de la teoría del campo unitario en la que se incorporarían todas las diferentes manifestaciones de la realidad física, incluyendo la gravitación y el electromagnetismo.<sup>385</sup>

Sin embargo, no ha sido posible unificar ambas teorías: las leyes de Maxwell que describen el comportamiento de los campos electromagnéticos, por un lado, y las ecuaciones del campo gravitatorio de Einstein, por otro, son dos teorías completamente desvinculadas entre sí.

La teoría de la relatividad general está plenamente establecida en el mundo científico gracias a su alto grado de predicción. Si bien en campos de baja intensidad gravitatoria los resultados son compatibles con las leyes de Newton, cuando se trata de altas intensidades –como las que se dan en torno a un agujero negro, por ejemplo- las leyes de la mecánica clásica fallan mientras que la relatividad general encaja a la perfección. Por otra parte, en la investigación relativa a la estructura global del Universo la teoría de la relatividad general es la teoría que proporciona mayores resultados.

Si la teoría de la relatividad especial niega la simultaneidad absoluta, la teoría de la relatividad general señalará, además, la imposibilidad de la instantaneidad, al mostrar el dinamismo que caracteriza al universo en expansión y en permanente transformación, en un espacio-tiempo curvo representado por la geometría no euclidiana de Riemann<sup>386</sup>. En el universo espacio-temporal de la relatividad general –es decir, un universo realmente dinámico, en el que, como hemos visto, no se da la instantaneidad- tampoco es posible la simultaneidad absoluta. Así, la teoría de la relatividad general viene a reforzar, desde una nueva perspectiva, la negación de la simultaneidad absoluta que trajo consigo la teoría de la relatividad especial.

## 5.4. El espacio-tiempo de Minkowski

En la elaboración de su teoría de la relatividad especial, Einstein todavía trataba el espacio y el tiempo por separado. Sería su antiguo profesor de matemáticas,

---

<sup>385</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 323.

<sup>386</sup> El matemático Bernhard Riemann (1826-1866) propuso una nueva geometría, no euclidiana, e introdujo el *tensor* como elemento métrico que permitía describir la curvatura local del espacio n-dimensional. Esta nueva matemática será la herramienta que permitirá a Einstein expresar matemáticamente la descripción de los objetos físicos en el contexto de la teoría de la relatividad general.

Hermann Minkowski (1864-1909) el responsable de la asociación de ambos al proponer su unificación en un concepto tetradimensional: el espacio-tiempo, concepto que permite hacerse una imagen más aproximada de las nociones implicadas en la teoría de la relatividad. Como el propio Minkowski expresaría:

Las visiones del espacio y del tiempo que voy a exponer han brotado sobre el terreno de la física experimental y eso es lo que les confiere su fuerza. Son radicales. A partir de ahora, el espacio en sí y el tiempo en sí están condenados a desvanecerse en la sombra y sólo la unión de los dos podrá tener un sentido en tanto que realidad independiente.<sup>387</sup>

En el apartado dedicado al continuo espacio-tiempo de su obra *La física, aventura del pensamiento*, Einstein señala que la representación gráfica del movimiento de una partícula se puede interpretar de dos modos distintos: mediante una imagen dinámica del movimiento como una serie de sucesos sobre un continuo unidimensional del espacio, donde la partícula varía de posición con el paso del tiempo, o bien mediante una imagen estática del movimiento de manera que representamos el movimiento con una curva en un continuo bidimensional espacio-tiempo. Esta última representa el movimiento “como algo que es, que existe, en el continuo bidimensional espacio-tiempo y no como algo que cambia en el continuo unidimensional del espacio”.<sup>388</sup> Ambas representaciones –continúa Einstein– son equivalentes e igualmente válidas para la física clásica aunque ésta favoreció la imagen dinámica frente a la estática. Pero para la teoría de la relatividad resulta más adecuada, más objetiva, la imagen estática puesto que aquí el tiempo ya no es absoluto.

Para la física clásica, como sabemos, hay un único flujo temporal por lo que para cada sistema de coordenadas el continuo bidimensional puede ser separado en dos continuos unidimensionales, que son el tiempo y el espacio y que son representados por sendos ejes de coordenadas,  $x$  e  $y$ . En lo que se refiere a la teoría de la relatividad, dice Einstein que, puesto que el instante no es el mismo para los observadores situados en distintos sistemas de coordenadas,

---

<sup>387</sup> MINCOWSKI, H., en su discurso de inauguración de la 80ª reunión de la *Asamblea general alemana de científicos naturales y físicos* celebrada el 21 de septiembre de 1908, citado en DE SAINT-OURS, A. *Bergson y la teoría de la relatividad especial*. Departamento de Filosofía. Universidad de París. Subido por Miguel Segundo Ortín a <https://www.academia.edu/5072675/BERGSON>. (En dicho discurso Minkowski pronunció esta frase, que se ha hecho célebre, quedando grabada en la historia de la ciencia).

<sup>388</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento*. op. cit. p. 178.

La coordenada del tiempo como la del espacio, será diferente en los dos SC y la variación de la primera será tanto más notable cuanto más se acerque, la velocidad relativa, a la de la luz. Por ello el continuo bidimensional no puede ser partido en dos continuos unidimensionales como en la física clásica. No se puede considerar separadamente el tiempo y el espacio, al determinar las coordenadas espacio-tiempo, al pasar de un SC a otro. La división del continuo bidimensional en dos unidimensionales, es desde el punto de vista de la teoría de la relatividad, un procedimiento arbitrario falto de significado objetivo.<sup>389</sup>

Por lo tanto, la teoría de la relatividad es formalmente representable en un espacio de cuatro dimensiones –conocido como *espacio de Minkowski* o *M 4*- aunque la unificación de las tres coordenadas espaciales y la coordenada temporal no supone la identificación de ésta con una de aquéllas. Todo problema de relatividad especial se puede plantear en el espacio de Minkowski como un problema geométrico donde lo que se considera real frente a un cambio de coordenadas es el *evento o suceso* – representado por un punto del espacio de Minkowski- y la estructura causa-efecto, materializada en los *conos de luz*, que son invariantes. Y este nuevo espacio-tiempo tiene una propiedad geométrica que consiste en la invariancia de la estructura de los *conos de luz* ante cualquier cambio de sistema de referencia.

Para ilustrar esta idea consideremos como ejemplo dos observadores -situados en dos puntos cualesquiera del espacio- que presencian la misma explosión pero que al encontrarse a diferentes distancias del acontecimiento la ven en momentos distintos. El mismo suceso para uno ocurrió a las cuatro mientras que para el otro ocurrió a las seis y, sin embargo, ambos tienen razón aunque sabemos que el suceso ha acontecido en un instante concreto. Si en lugar de considerar sólo el tiempo, consideramos el suceso desde el punto de vista del espacio-tiempo, dicho suceso sería el mismo para ambos observadores. En este escenario, el sólo hecho de estar en un punto concreto del espacio en un momento concreto ya constituye un *suceso*. Aquí los intervalos en el espacio-tiempo son invariantes, esto es, iguales para todos los observadores. Y en ellos, en los invariantes, es donde reside el espíritu que preside la formulación de la teoría de la relatividad, cuyo nombre no agradaba a su creador pues no reflejaba realmente esta búsqueda de invariantes que tanto le interesaba.

Todo suceso queda caracterizado por cuatro números; y a cada cuatro números responde, recíprocamente, un suceso. Por eso el mundo de los sucesos es un

---

<sup>389</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento*. op. cit. p. 179.

continuo de cuatro dimensiones. No hay nada misterioso en esto y la última afirmación es igualmente cierta para la física clásica como para la teoría de la relatividad. La diferencia aparece cuando se consideran dos SC en movimiento relativo.<sup>390</sup>

Dentro del paradigma clásico, al pasar de un sistema de coordenadas a otro únicamente deberemos transformar las coordenadas espaciales ya que el tiempo es absoluto, el mismo en cualquier sistema de referencia, “por eso resulta natural e, incluso, conveniente la separación del continuo entre espacio y tiempo en su representación. Pero desde el punto de vista de la teoría de la relatividad, el tiempo como el espacio varían al pasar de un sistema a otro, de acuerdo a la transformación de Lorentz”.<sup>391</sup> Así, puesto que el intervalo espacio-temporal no varía de un sistema de referencia a otro y, sin embargo, sí hay variación entre los tiempos de los acontecimientos –relatividad de la simultaneidad- entonces también debe variar la longitud o distancia longitudinal entre ellos –relatividad de la longitud. Las relaciones espacio-temporales se pueden representar en los diagramas de Minkowski:

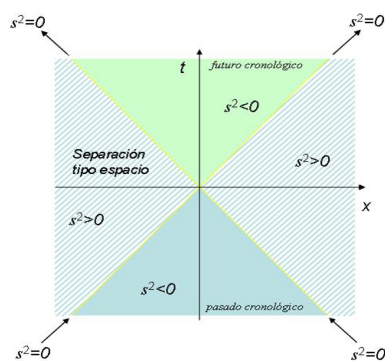


Figura 4. Espacio de Minkowski en dos dimensiones<sup>392</sup>

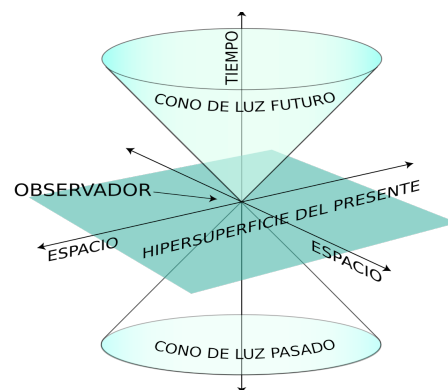


Figura 5. Espacio de Minkowski en tres dimensiones<sup>393</sup>

Como describe Bas Van Fraassen,<sup>394</sup> los acontecimientos en la historia de un cuerpo O están representados por puntos que forman la línea vertical que es la *línea de universo* de dicho cuerpo y que constituye, a la vez, el eje del tiempo *t* del sistema de referencia S, en el que se encuentra. La línea horizontal *x*, trazada a través de uno de estos puntos representa una de las dimensiones espaciales. Los rayos de luz que coinciden con este punto origen O de intersección entre ambas

<sup>390</sup> EINSTEIN, A. *La física, aventura del pensamiento*. op. cit. p. 180.

<sup>391</sup> EINSTEIN, A. *ibid.*

<sup>392</sup> Figura obtenida en el sitio <http://grupo3mm51234.blogspot.com.es/2011/10/espacio-de-minkowski.html>

<sup>393</sup> Figura obtenida en el sitio <http://cuentos-cuanticos.com/2011/08/11/diagramas-de-penrose/>

<sup>394</sup> VAN FRAASSEN, B. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. op. cit. p. 202.

líneas,  $t$  y  $x$ , están representados por líneas que forman un ángulo de  $45^\circ$  con estos ejes dividiendo el diagrama en tres zonas: pasado, futuro y zona espacial -que es la que en la fig. 4 aparece a rayas alrededor del eje  $x$ -.

El carácter limitador de la velocidad de la luz se expresa aquí -continúa Van Fraassen<sup>395</sup>- mediante la definición de la zona espacial de  $O$ , según la cual un cuerpo se encuentra en la zona espacial de  $O$  si y sólo si es imposible que una señal que parta de cualquiera de los puntos que constituyen la línea universal de  $b$  pueda alcanzar el punto  $O$  de intersección de  $t$  y  $x$ . El pasado y el futuro del cuerpo  $O$  cuya línea de universo es  $t$  constituyen el *cono de luz de  $O$*  -representado en tres dimensiones en la fig. 5-; cualquier acontecimiento ocurrido dentro del cono de  $O$  tiene con respecto a  $O$  una separación temporal según la cual en algún sistema alternativo  $S'$  ambos acontecimientos ocurren en el mismo lugar pero no en el mismo tiempo y, además, no hay ningún sistema alternativo  $S'$  en el que sean simultáneos.

Del mismo modo que determinamos un *punto* en el espacio y un *momento* en el tiempo, se determina un *suceso* en el espacio-tiempo. Las ecuaciones de Lorentz describen el espacio y el tiempo en esta especie de realidad común llamada espacio-tiempo tetradimensional que implica que el tiempo deja de ser una variable independiente, como sucedía en la mecánica clásica. Ahora no se puede determinar el tiempo de un acontecimiento sin hacer referencia al lugar en el que sucede y viceversa. Una vez más, repetimos, el espacio y el tiempo ya no son independientes entre sí sino que están ligados el uno al otro por definición pues, ahora, todo suceso o acontecimiento se define precisamente por la coincidencia de ambos.

En base a esto, el tiempo se entiende como el conjunto de acontecimientos que se suceden en un mismo punto y el espacio, a su vez, como el conjunto de los acontecimientos "simultáneos". Pero, no olvidamos que la simultaneidad ha sido puesta en cuestión en este preciso contexto: esta definición del espacio es consecuencia del hecho de que un cuerpo en movimiento está definido por el conjunto de posiciones simultáneas de las diversas partes de materia que lo componen -sus puntos materiales. Sin embargo, es importante aquí recordar que toda representación de un cuerpo por un punto o su expresión mediante los tres números reales que indican sus coordenadas no es más que una idealización. Puesto que, como señala Van Fraassen,

---

<sup>395</sup> VAN FRAASSEN, B. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio. ibid.*



Un cuerpo real tiene un volumen finito determinado, de modo que no se localiza en un punto sino en una región tridimensional del espacio. Análogamente, los ejemplos corrientes de estados y acontecimientos duran una determinada cantidad finita de tiempo; su localización en el tiempo está representada por un intervalo finito sobre la recta real.<sup>396</sup>

Pero esta idealización requiere de un método que nos permita representar adecuadamente el comportamiento de los cuerpos y acontecimientos reales. Así, puesto que un acontecimiento queda definido por la coincidencia de espacio y de tiempo, una *línea de universo* en el espacio de Minkowski es un conjunto de acontecimientos asociados por una relación de sucesión –como por ejemplo la de causalidad-. Con ello el propio concepto de *universo* se convierte en una síntesis de las antiguas nociones de espacio y tiempo, que ahora forman un todo indisoluble. “Minkowski se dio cuenta de que el universo no es simplemente un universo de objetos, sino de sucesos; y de que la física no describe únicamente la estructura espacial de los cuerpos, sino también los cambios que esa estructura experimenta en el tiempo, segundo a segundo”.<sup>397</sup> Esta idea es esencial a la teoría de la relatividad general y Einstein apreció el gran poder sugestivo de estos dos nuevos conceptos que aportaba Minkowski: *la línea de universo* y los *puntos espacio-temporales*.

De lo dicho anteriormente se desprende que cualquier fenómeno físico que se dé en el universo puede descomponerse en sucesos elementales, sucesos que son algo que ocurre en un lugar y en un momento determinado. En este contexto, podemos definir los lugares como los volúmenes infinitesimales que, en número ilimitado, forman un continuo infinito y absoluto llamado espacio con lo que éste, el espacio, viene a constituir el máximo volumen posible que contiene todos los demás. Análogamente, entendemos por instantes los elementos infinitesimales de un continuo infinito y absoluto llamado tiempo; los instantes vendrían a ser los *lugares* del tiempo y el espacio-tiempo, el conjunto infinito de todos los lugares en el espacio y de todos los instantes en el tiempo.<sup>398</sup>

Los *lugares* del espacio-tiempo no son distinguibles entre sí por lo que, para describir uno de ellos es necesario señalar las distancias espaciales y la temporal

---

<sup>396</sup> VAN FRAASSEN, B. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. *op. cit.* p. 230.

<sup>397</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional*. *op. cit.* p. 179.

<sup>398</sup> Y, por tanto, de cuatro dimensiones, pues todo suceso elemental en dicha extensión se localiza encima o debajo –primera dimensión-, a derecha o izquierda –segunda-, delante o detrás –tercera- y antes o después –cuarta- de cualquier otro suceso elemental que se tome como referencia.

que le separan de algún suceso que se ha de tomar como referencia: son las distancias relativas conocidas también como coordenadas de espacio y tiempo.

Un objeto persistente es un proceso que existe en sucesivos momentos, recorriendo así una serie continua de lugares en el tiempo –si está en reposo absoluto- y también en el espacio, si cambia de lugar en éste. Su historia es, pues, una línea que une los distintos lugares del espacio y del tiempo por los que el objeto va pasando. Es su línea de universo.<sup>399</sup>

Cuando un fenómeno persiste sin cambiar de lugar en el espacio, su línea de universo es una línea recta que se extiende en la dirección del tiempo, única dimensión que recorre, pero cuando un fenómeno persiste cambiando de lugar en el espacio, su línea de universo se desvía tanto más de la dirección del tiempo cuanto mayor es su velocidad, por lo tanto, en un cuerpo con movimiento acelerado, la línea de universo describe una trayectoria que se curvará en función de dicha aceleración. Por otra parte, cuando un observador ve que un objeto cambia de lugar con respecto a él, lo único que puede afirmar con seguridad es que la línea de universo del objeto no es paralela a la suya. Pero, cuál se separa de cuál o, cuál de las dos se separa más de la dirección del tiempo, -o sea, del reposo absoluto- y, si la separación no se produce a velocidad constante, cuál de las dos líneas de universo está más curvada, son cuestiones que no se pueden determinar mediante ninguna observación o medición. Puesto que las líneas de universo no son visibles ni dejan huella lo único que es posible constatar al respecto son situaciones relativas. En cualquier caso, como ya hemos señalado aquí, las líneas de universo son absolutamente irreversibles: esto es lo que constituye la invariancia del *intervalo universal* de Minkowski.

En el desarrollo matemático de la teoría de la relatividad el tiempo se trata como una coordenada más. Coordenada que prácticamente no se distingue en nada de las otras tres coordenadas en tanto que, siendo todas distancias, unas lo son en el espacio y otra lo es en el tiempo. De ello resulta una descripción puramente geométrica de la física que da lugar a las conocidas nociones de *espacio de cuatro dimensiones* y *curvatura del espacio*, entre otras.

Pero no se debe olvidar que este tipo de expresiones e imágenes únicamente son formas de representar el mundo físico: la geometría como la representación

---

<sup>399</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. op. cit.* p. 184.

abstracta al servicio de la física. Y es cierto que física y geometría no se distinguirían si no fuera porque en una de ellas, la física, transcurre el tiempo mientras que en la otra está ausente. Pero en el universo el tiempo transcurre y, por tanto, la geometría de la que podemos hablar desde la física es una geometría en el espacio y en el tiempo, o sea, una geometría de cuatro dimensiones que constituye un análisis del universo y de sus procesos punto por punto. De ahí que Minkowski pudiera imaginar una representación gráfica del mundo físico como mapa de cuatro dimensiones. Así explica Sommer -en términos de líneas de universo y tiempo- un fenómeno físico como el efecto que produce la fuerza de la gravedad en un cuerpo:

En el mapa universal de Minkowski se ve que las líneas de universo de los cuerpos libres de toda influencia son rectas. Pero cuando estos objetos se aproximan al campo gravitatorio de otro cuerpo, la energía que absorben del campo aumenta su propia inercia, y el *ritmo* de su avance disminuye. Esto significa una desviación de su programa de tiempos y, con ello, de su línea de universo, aunque no necesariamente de su trayectoria en el espacio de tres dimensiones.<sup>400</sup>

Es decir, que un cuerpo libre de toda influencia recorre espacios iguales en tiempos iguales, es decir, su velocidad absoluta permanece constante en su valor –que puede ser cero si se encuentra en reposo- y en su dirección. Su trayectoria en el espacio es recta y también es recta su *línea de universo*. Pero en el caso de que intervengan factores que perturben su estado de manera que, aunque conserve la misma trayectoria en el espacio, varíe la velocidad de su movimiento, esto se traduce, en nuestro esquema de representación de cuatro coordenadas, en una desviación –o curvatura- de su línea de universo. O, en otras palabras: una fuerza aplicada a un objeto a lo largo de su trayectoria –lo que implica un cambio en su inercia- puede apartarle de su línea de universo.

Y ambas cosas son, en el fondo, lo mismo: una variación en la cantidad de energía, por lo que toda variación en la cantidad de energía de un punto del universo puede representarse geoméricamente como una desviación o curvatura de su línea de universo. La gravedad acerca los cuerpos del mismo modo que la curvatura de la esfera aproxima las líneas paralelas y, así como la línea recta de un mundo plano se transforma en un arco al recorrer una esfera, las trayectorias rectas de la relatividad especial se convierten en *geodésicas* curvas al acelerarse en el universo de la relatividad general.

---

<sup>400</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. op. cit.* p. 182.

La relatividad general toma el universo plano de Minkowski y, mediante la incorporación de la presencia de la *masa*, le genera la curvatura: a mayor cantidad de materia o de energía contenida mayor curvatura obtendremos. En palabras del físico John Wheeler (1911-2008): “la gravedad no es una fuerza ajena y física que actúa en el espacio, sino una manifestación de la geometría del espacio justo allí donde se encuentra la masa”.<sup>401</sup>

En todos los mapas del universo de Minkowski se reconoce como un invariante “que la línea de universo más corta entre dos sucesos es la que un objeto recorre cuando no está sometido a ninguna fuerza”,<sup>402</sup> que es lo que se ha dado en llamar una *línea geodésica*. Y, en el caso de los cuerpos sometidos a influencias, aunque la trayectoria describe una línea curva, sigue siendo una geodésica -porque ningún objeto puede recorrer otra más corta entre los mismos puntos. Es lo que ocurriría si hubiera un socavón allí donde se encuentra una mayor concentración de materia. Por esta razón se utiliza la expresión *curvatura del espacio-tiempo* para señalar el efecto que tiene en el universo un campo gravitatorio. Sin embargo, lo que la idea de curvatura expresa realmente es –ahora en términos de inercia y energía- que

donde hay un campo gravitatorio cualquier objeto adquiere mayor inercia y reduce su velocidad, incluso la luz y la energía en general. Este aumento de inercia -que los matemáticos llaman *curvatura del espacio-* es lo que da lugar a que la luz y los planetas pierdan velocidad al acercarse al Sol, y sufran una desviación mayor en su trayectoria que la que experimentarían si no variara su inercia.<sup>403</sup>

Para ilustrar esta idea, dada la dificultad que presenta la visualización de un espacio curvo de tres dimensiones –nuestra imaginación sólo nos permite visualizar una superficie bidimensional contenida en un espacio tridimensional- resulta útil recurrir a la imagen de una superficie elástica extendida y fijada en sus extremos en cuyo centro colocamos un objeto pesado que provocará la curvatura de la superficie elástica a su alrededor. Si lanzamos una bola pequeña sobre la superficie su trayectoria describirá una órbita elíptica alrededor del objeto causante de la curvatura (ver fig. 3).

Einstein dedujo una ecuación que describe exactamente cómo y cuánto se curva el espacio alrededor de una masa y, con ella, fue capaz de explicar fenómenos que

---

<sup>401</sup> WHEELER, J. Citado en BLANCO LASERNA, D. *Einstein. La teoría de la relatividad. El espacio es una cuestión de tiempo*. Navarra: RBA, 2012, p. 113.

<sup>402</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. ibid.*

<sup>403</sup> SOMMER, H. *op. cit.* p. 183.

escapaban a la explicación newtoniana y de hacer numerosas predicciones que se han ido confirmando en los años posteriores: la predicción de la teoría de la relatividad general, por ejemplo, de que el tiempo transcurrirá más despacio en campos gravitatorios de mayor intensidad, pudo ser comprobada con ocasión del eclipse que tuvo lugar en 1925.

En estos nuevos términos, que ahora son geométricos, la velocidad absoluta de un objeto equivale a la inclinación de su línea de universo y la aceleración corresponde a su curvatura. Por tanto toda desviación o curvatura de la línea de universo representa una variación en la velocidad del objeto e indica así la presencia de una fuerza, un impulso, una energía y una inercia o masa. Así, pues,

Las invariantes geométricas del mapa universal de Minkowski no son, pues, más que la representación gráfica de relaciones también invariantes entre distancias, tiempos, velocidades, aceleraciones, fuerzas, masas, impulsos y energías de los puntos perceptibles, que constituyen las leyes físicas absolutas de un universo único que no depende de quien lo percibe.<sup>404</sup>

En un espacio ondulado no es indiferente la geometría, pues su morfología no es igual en cualquier dirección que nos movamos, variando ésta en función del ángulo de curvatura propio de cada intervalo. Gauss llamó a la función matemática que muestra esta propiedad de una superficie, su *métrica -g-*. La métrica es, pues, lo que describe la forma de cualquier superficie, con todas las irregularidades que constituyen su estructura y lo que permite reconstruir sus aspectos invariantes, la distancia entre sus puntos, la curvatura en cada intervalo, etc. Así, en un contexto de relatividad especial, con sistemas de referencia en movimiento relativo uniforme, la curvatura será nula, dando lugar a un espacio-tiempo plano de Minkowski, mientras que en el ámbito de la relatividad general no es posible esta situación, dada la presencia de gravedad y la ausencia de vacío real en todo el espacio-tiempo.

Einstein consideró la idoneidad de la geometría diferencial elaborada por Carl Friedrich Gauss (1777-1855) -por lo que el matemático es considerado el padre de la geometría no euclidiana-, que fue posteriormente generalizada por Riemann para hacerla apropiada al ámbito de la física. Por su parte, Minkowski hizo posible que las propuestas de Gauss se hicieran aplicables a las ideas de la teoría de la

---

<sup>404</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. op. cit.* p.185.

relatividad especial, fundiendo el espacio y el tiempo en una única realidad espaciotemporal de cuatro dimensiones.

Así, incorporados el uno al otro -el tiempo al espacio y viceversa- se ha geometrizado la dinámica a la vez que se ha dinamizado la geometría. Minkowski reformula de este modo la teoría de la relatividad especial, con lo que, ahora, las geodésicas y las invariantes geométricas adquieren un significado físico más concreto: las geodésicas han pasado de ser líneas abstractas estáticas a ser trayectorias de movimientos. Ahora podemos hablar de acontecimientos o sucesos en lugar de cosas o puntos, de sistemas de referencia en lugar de sistemas de coordenadas; en este paso operado por Minkowski, física y geometría se han enriquecido mutuamente. El tiempo aquí se puede considerar, en el fondo, una propiedad geométrica al ser un aspecto de la distancia entre dos sucesos que depende de la velocidad relativa de los mismos.

Pero el espacio-tiempo de Minkowski no representa el universo físico ya que es plano, en virtud de la velocidad relativa uniforme a la que se restringen los sistemas inerciales que se manejan en la relatividad especial. Para representar la curvatura del universo que describe la relatividad general debida a la gravedad es necesario, además de incorporar el tiempo a las tres dimensiones espaciales, que las trayectorias rectas de las geodésicas de aquél plano se transformen en geodésicas curvas representativas del movimiento de los sistemas de referencia acelerados y representativos, también, de la deformación del espacio-tiempo debida a presencia de gravedad. Y es que, en este sentido, en virtud de la estrecha interdependencia existente entre materia y espacio, –como dice John Wheeler- “el espacio le dice a la materia cómo debe moverse, y la materia le dice al espacio cómo debe curvarse”.<sup>405</sup> De aquí que se haya extendido la idea de que la teoría de la relatividad de Einstein ha *geometrizado* la física.

Y en este proceso de geometrización de la física tiene mucho que ver el trabajo del matemático alemán David Hilbert (1862-1943) que ya antes había axiomatizado la geometría y ahora, influenciado por Minkowski, reconstruye la física desde sus fundamentos en base a las matemáticas más avanzadas, haciendo surgir las ecuaciones fundamentales de la física de una función que denominó *función de universo*. Y Einstein, que había formulado su teoría de la relatividad general en

---

<sup>405</sup> WHEELER, J. Citado en BLANCO LASERNA, D. *Einstein. La teoría de la relatividad. El espacio es una cuestión de tiempo. op. cit.* p. 114.

términos geométricos -que no dominaba-, encontró en el análisis tensorial -rama de las matemáticas que estudia los tensores como magnitudes matemáticas dotadas de unas propiedades específicas- la herramienta más adecuada para expresar su descripción de los fenómenos en los términos propios de la relatividad general. En ella, la gravedad se convierte en una manifestación de la geometría en función de la mayor o menor presencia de masa, que es la causa de la curvatura del universo: todo ello es representable mediante un *espacio de Hilbert* lleno de tensores. Y todo este nuevo contexto dará interesantes frutos en el ámbito de la especulación cosmológica que, gracias a la teoría de la relatividad general, adquiere una mayor categoría científica.

Como ya hemos señalado con anterioridad, en la teoría general de la relatividad el espacio-tiempo no tiene una existencia autónoma con respecto a los acontecimientos o fenómenos físicos que en él se desarrollan sino que estos últimos son los que modifican las propiedades de aquél por lo que la geometría euclidiana ya no es útil para expresar su descripción. Por otra parte, podemos afirmar que este espacio-tiempo es de naturaleza *sustancial*. Lejos de considerarse una mera abstracción geométrica, tiene la consistencia de su propio contenido – utilizando aquí este término “contenido” con toda la prevención que requiere el nuevo escenario-. A diferencia de la geometría euclidiana del espacio pre-relativista y de la relatividad especial –en la que, puesto que únicamente considera sistemas inerciales, que están libres de cualquier efecto debido a fuerzas que afecten a la regularidad de su movimiento, el espacio también es euclidiano- la geometría no euclidiana del espacio-tiempo es dependiente de las entidades físicas y son sus propiedades geométricas las que explican fenómenos como el de la *dilatación de tiempo*. Así como antes la línea recta era la distancia más corta entre dos puntos, en este nuevo escenario la distancia temporal más larga entre dos acontecimientos es la línea recta (recordemos que el gemelo de Langevin que no ha modificado su trayectoria, el que se ha quedado en Tierra, cuenta más unidades de tiempo que el que se desvía de la trayectoria de la Tierra en su viaje de ida y vuelta).

Aunque, como hemos visto, la teoría de la relatividad especial muestra que los sucesos sólo pueden ser descritos de forma relativa a un observador y nunca como algo absoluto, algunos autores -como Sommer- afirman que “Einstein, que ha pasado a la historia como el padre de los universos relativos afirmando que existen tantos universos reales como sistemas de referencia, lo que en realidad parece haber hecho, llevado de la mano de Minkowski, es nada menos que confirmar la

existencia de un universo absoluto”.<sup>406</sup> Y, en este sentido, matiza José Ortega y Gasset -en su artículo publicado en 1947 con el título *El sentido histórico de la teoría de Einstein*- que la física de Einstein no es relativa, sino relativista y esto es lo que le proporciona el carácter absoluto a la teoría de la relatividad:

La más trivial tergiversación que puede sufrir la nueva mecánica es que se la interprete como un engendro más del viejo relativismo filosófico que precisamente viene ella a decapitar. Para el viejo relativismo, nuestro conocimiento es relativo porque *lo que* aspiramos a conocer (la realidad tempo-espacial) es absoluto y no lo conseguimos. Para la física de Einstein, nuestro conocimiento es absoluto; la realidad es relativa.<sup>407</sup>

Si descartamos la posibilidad del movimiento absoluto y defendemos la idea de una relatividad generalizada entonces la física debe ser edificada sobre la base de una geometría más general que la de Euclides. Esta es una consecuencia ineludible. Y es el cuestionamiento del quinto postulado de la geometría euclidiana lo que dará origen a la concepción de nuevas geometrías. Este postulado, que establece la definición de las líneas paralelas, será cuestionado, no en su valor de verdad sino en su estatus de postulado pues, dado su carácter no evidente por sí mismo, debería ser demostrable a partir de los cuatro anteriores y, por tanto, pasar a ostentar la categoría de teorema.

A finales del siglo XVIII Gauss demostró –aunque no dio a conocer sus conclusiones- que este postulado sólo se cumplía en el caso de que se tratara de una superficie plana, como lo era el espacio geométrico euclidiano. Pero en una superficie curva el quinto postulado no era posible. En el siglo XIX –en el que esta cuestión se convertirá en uno de los principales problemas de la geometría- Georges Riemann ampliará las ideas de Gauss a espacios de tres o más dimensiones, demostrando que tampoco en estas geometrías se cumple el quinto postulado de Euclides.

La geometría de Riemann describe una superficie de curvatura positiva o convexa, como lo es la esfera -en la cual, por ejemplo, la suma de los ángulos de un triángulo es mayor que 180º-. Esta geometría dará lugar al *análisis tensorial* que servirá a Einstein para desarrollar la teoría de la relatividad general. Otras geometrías, como

---

<sup>406</sup> SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional. op. cit.* p. 183.

<sup>407</sup> ORTEGA Y GASSET, J. *El sentido histórico de la teoría de Einstein*. Madrid: Revista de Occidente, 1947, vol. III, pp. 231-242., Recogido en *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad. op. cit.* p. 166.



las de Nikolai Lobachevsky y Janos Bolay (1802-1860), describen una superficie de curvatura negativa o cóncava –donde la suma de los ángulos de un triángulo es menor que  $180^\circ$ –, representada por lo que se ha dado en llamar una *semiesfera*. Pero serían estos últimos –Lobachevski y Bolyai- quienes concluirían definitivamente que no es posible demostrar el quinto postulado y que, por el contrario, sí es posible una geometría no euclidiana coherente.

Las geometrías no euclidianas se basan, pues, en la negación del quinto postulado. Gracias a ellas se puede concebir la diferencia lógica entre lo infinito y lo ilimitado - como se manifiesta en la superficie de una esfera, que es finita pero no tiene límites-. Los espacios no euclidianos no son homogéneos. En lugar de este concepto, aquí se utiliza la noción de *isogeneidad*. En este sentido, la teoría de la relatividad se añadiría a esta crítica viniendo a mostrar que la geometría euclidiana no es proyectable al universo como un todo sino que su validez es de ámbito local. La geometría euclidiana –que recibiría este nombre en el contexto de la aparición de estas geometrías alternativas- es un caso límite de la geometría no-euclidiana aplicable únicamente a escala local; es una geometría de lo próximo frente a las geometrías no euclidianas, que son de largo alcance.

En cualquier caso, el espacio-tiempo de la relatividad es de carácter continuo si bien este rasgo ha sido también motivo de polémica. En este sentido, Eugeni D'Ors ofrece una interpretación distinta del espacio-tiempo.

## **5.5 El espacio-tiempo y la discontinuidad**

En los años de publicación de la teoría de la relatividad se mantenía un intenso debate filosófico entre una corriente intuicionista, representada por Henry Bergson y los defensores del positivismo racionalista entre los que se encontraban Bertrand Russell y otros. En este debate se inscribe la tesis defendida por Eugeni D'Ors -en 1913- en la que afirma que el espacio-tiempo de Minkowski y Einstein permite señalar una sucesión discreta de acontecimientos que imposibilita la divisibilidad infinita del espacio y, añadirá, este carácter discontinuo del espacio-tiempo es lo que permite superar de una forma racional las aporías de Zenón. El mismo Eugeni D'Ors afirma al final de la obra: “hemos querido encerrar en los límites aparentes de una cuestión monográficamente estrecha, una contribución, traída con cierta

amplitud, al gran debate contemporáneo entre el intelectualismo y el anti-intelectualismo”.<sup>408</sup> Su tesis defenderá que la consecuencia de la noción de *línea de universo* es poner un límite teórico a la divisibilidad del espacio.

Que con mantener distintas y separadas las nociones del espacio y del tiempo, Zenón ha de triunfar siempre. Y sólo se le podrá considerar vencido, en el dominio de la razón, cuando la nueva concepción del Espacio-Tiempo, que el genio de Minkowski ha traído a la Física como coronamiento a la teoría de la Relatividad, sea aprovechada por los filósofos para poner un límite teórico a la divisibilidad teórica del espacio geométrico, divisibilidad que se ha supuesto siempre infinita, y destruir por aquí la secular invulnerabilidad de las dos aporías formidables: el argumento de la flecha y el argumento de Aquiles y la tortuga.<sup>409</sup>

El cambio en los conceptos fundamentales de espacio y de tiempo trae una nueva noción de Universo considerado como categoría única, una amalgama de ambos, el espacio-tiempo, que modifica la manera de plantear el problema de la infinita divisibilidad. Y la nueva pregunta es: puesto que el espacio y el tiempo son, por separado, infinitamente divisibles, al menos teóricamente, ¿también es infinitamente divisible el espacio-tiempo?

En un lugar del espacio pueden ocurrir infinitos acontecimientos y en un instante del tiempo también pueden ocurrir infinitos acontecimientos. Sin embargo, puesto que la teoría de la relatividad define un acontecimiento o línea de universo como una coincidencia entre el espacio y el tiempo, tenemos que en un lugar único del espacio ceñido a un momento único del tiempo sólo puede ocurrir un acontecimiento. Y visto así, un acontecimiento es algo indivisible pues, para que un acontecimiento pudiera descomponerse en partes, éstas tendrían que ser homogéneas con él y, por tanto, ser también acontecimientos, cada uno de los cuales tendría un lugar en el espacio y un instante en el tiempo. Pero entonces obtendríamos dos instantes en el tiempo y dos lugares en el espacio para el acontecimiento único dado, lo que contradice la hipótesis que origina el planteamiento. Según este planteamiento, en palabras de D’Ors, y en términos más gráficos, un acontecimiento puede representarse por una intersección:

Si representamos por E un lugar cualquiera del espacio, y por E.... la línea de acontecimientos que pueden ser condicionados por él, esta línea, y cada una de sus

---

<sup>408</sup> D’ORS, E. *Las aporías de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo*, op. cit. p. 131.

<sup>409</sup> D’ORS, E. op. cit. p. 16.

partes, podrá considerarse como infinitamente divisible. Y lo mismo podremos decir de una línea T.... que parta de un instante de tiempo T, y representa todos los acontecimientos posibles condicionados por este instante de tiempo. Pero si queremos que estas dos líneas se corten para formar un acontecimiento A, condicionado a la vez por E y por T, esta A se situará precisamente en la intersección, y la intersección debe ser precisamente un punto.<sup>410</sup>

Y, continúa, este punto es realmente un punto, es decir, un indivisible ya que, de no ser así, se podría descomponer en partes que, a su vez, constituirían sendos puntos, de los cuales sólo uno podría ocupar la intersección; el otro tendría que estar fuera de una de las líneas intersectadas. Y si, como afirma la teoría de la relatividad, es imposible concebir ningún punto E de E.... que no intersecte con algún punto T de T...., se concluye que ambas líneas se componen de una serie de intersecciones sucesivas, es decir, de una serie de puntos indivisibles, por lo que aunque E.... y T.... son infinitos en extensión, no lo son en su composición ya que se componen de indivisibles.

Por tanto, siempre que, al proponer un acontecimiento, señalemos un doble término cualquiera a estas líneas, marcando convenientemente, y por el planteamiento del problema, un principio y un fin, nos las habremos con un perfecto finito, con una suma de puntos indivisibles; que es lo mismo que si dijéramos, en el lenguaje aritmético, una suma de unidades.<sup>411</sup>

Así pues, en la infinita línea de acontecimientos que componen el universo, si elegimos dos de ellos que acoten un proceso a modo de su principio y su fin, tenemos, no un espacio infinitamente divisible, como suponía Zenón en su consideración del espacio separado del tiempo, sino un espacio finitamente divisible que es la suma de elementos indivisibles. Una serie, no de extensiones, sino de intersecciones o, lo que es lo mismo, en lugar de una colección de puntos considerados como cantidades, una colección de puntos considerados como acontecimientos. El trayecto que sigue una flecha en movimiento consiste en una adición, en una operación finita, en recorrer una serie de puntos del espacio en función de una serie de instantes del tiempo.

Hay aquí una ortodoxia racionalista celosamente guardada: Toda flecha lanzada ocupa, en un instante, un lugar en el espacio. Toda cosa que ocupa un lugar en el espacio está en reposo. Luego, toda flecha lanzada está en reposo.

---

<sup>410</sup> D'ORS, E. *Las aporías de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo. op. cit. p. 116.*

<sup>411</sup> D'ORS, E. *ibid.*

¿Qué solución oponer a este razonamiento, para no salirse de lo puro racional? Sólo cabe una. Admitir que, en efecto, la flecha en el espacio avanza a través de una suma de reposos. Admitir la realidad metafísica del punto. Rechazar, a la vez que se rechaza el fantasma de la continuidad, el fantasma del infinito.<sup>412</sup>

De ello concluye Eugeni D'Ors que el universo en tanto que espacio-tiempo es un finito de composición y, por lo tanto, es discontinuo. Y en este contexto –añade– no hay que olvidar que el continuo matemático no es lo mismo que el continuo físico. Cuando en física convertimos un conjunto finito de observaciones en una curva estamos traduciendo una serie discreta en una función continua. Pero esta traducción que realiza el científico, no justifica postular la objetividad de la continuidad física. Así como una película muestra como apariencia de movimiento lo que en realidad no es más que la superposición de imágenes estáticas presentando una continuidad que sólo es aparente, análogamente, dada la inevitable limitación de la percepción sensible, en la continuidad del físico siempre nos acabaremos deteniendo ante una extensión finita. Y, en fin, más que estar limitados para llegar al verdadero continuo físico lo que ocurre es que no podemos acceder ni a lo infinitamente divisible. Y en ello –afirma Eugeni D'Ors– descansa *la teoría del error* según la cual todas nuestras experiencias llegan siempre a extensiones finitas y a diferencias también finitas entre ellas pero que son representadas por la ciencia geoméricamente mediante una línea curva.

Por lo tanto, pasamos de los datos de la experiencia, que son finitos y en número finito, y que constituyen una multiplicidad finita y discontinua, a la curva gráfica, y de ésta a la función algebraica que la define, todo ello en un ejercicio de extrapolación y de interpolación. Se trata de una licencia que se toma el científico con el fin de poder llevar a cabo la formulación de leyes en la naturaleza; de lo contrario, esto no sería posible. Así, *la teoría de los errores* o, lo que es lo mismo, el cálculo de probabilidades, permite pasar de la discontinuidad episódica que ofrece la experiencia a la continuidad de una ley; continuo que, por lo tanto, tiene un significado distinto en física que en matemáticas:

Representémonos una serie de fenómenos sucesivos y encadenados, una *línea de universo*. Representémonos en seguida la curva, la *línea geométrica* en que, por el método gráfico, simbolizamos esta serie. Representémonos finalmente la fórmula algebraica, lo que llamaríamos la *línea de análisis*, a que esta curva simboliza a su vez, y que, por consiguiente, constituye un símbolo de segundo grado de aquella serie.

---

<sup>412</sup> D'ORS, E. *Las aporías de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo*. op. cit p. 60.

Acabamos de ver que el continuo de la línea de análisis solo convencionalmente y mediante la negligencia legítima de pequeños elementos puede representar el continuo de la línea de universo, porque la línea de universo, en realidad, no es continua, sino discontinua, *discreta*.<sup>413</sup>

Pero, dando un paso más allá, Eugeni D'Ors señala que, puesto que una línea geométrica es algo que se desarrolla en el espacio y, como muestra la teoría de la relatividad, nada se desarrolla en el espacio que no se desarrolle también en el tiempo, la línea geométrica, del mismo modo que la línea de universo, estará constituida también por una adición de intersecciones entre ejes de espacio y ejes de tiempo y, en consecuencia, también será discontinua por lo que se compone objetivamente de puntos. Este razonamiento lleva a afirmar la existencia objetiva del punto como entidad-límite de la divisibilidad geométrica:

En realidad, etimológicamente, el nombre que con propiedad convendría al punto, concebido así, sería el de *átomo*, para indicar la privación de divisibilidad. Pero este nombre ha sido ya aprovechado por la química, la cual, en lugar de él, y para indicar la privación de composición, hubiera debido servirse de otro. Para no inducir a confusión, conservamos la palabra *punto*, pero precisando que, según nuestras ideas de finitud y discontinuidad en el espacio geométrico, debe entenderse el punto como entidad límite de división, como entidad indivisible.<sup>414</sup>

Así, el punto es la noción límite de la geometría como el átomo lo es para la física o el número entero para la aritmética. Y, si Descartes, con la invención de la geometría analítica *arismetizaba* la geometría, y Newton, mediante la mecánica *geometrizó* la física, ahora, con el concepto de espacio-tiempo relativista parece que se ha hecho física la geometría.

En definitiva, Eugeni D'Ors se suma a la contienda que se libraba en esa época, entre intuición y razón, claramente posicionado en la viva defensa del racionalismo más cartesiano como la concepción más adecuada para explicar tanto al hombre como al universo en su naturaleza. Así, termina su tratado con las siguientes palabras:

En diversos trabajos estamos llevando, en la medida de nuestras fuerzas, un sostenido combate contra algunos *lugares* de la filosofía romántica y a favor de las *ideas claras*,

---

<sup>413</sup> D'ORS, E. *Las aporías de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo*, op. cit. p. 121.

<sup>414</sup> D'ORS, E. op. cit. p. 122.

*concretas y precisas*, ¡de la sacra herencia de la cultura de los griegos! Hemos luchado, luchamos y queremos luchar aún contra el fantasma del *misterio*, contra el fantasma de la *vida interior*, contra el fantasma de *lo inconsciente*, contra el fantasma de *lo inefable*. La presente tesis es un episodio de la batalla paralela contra *el infinito* y *la continuidad*.<sup>415</sup>

A nuestro modo de ver, en este discurso Eugeni D'Ors atribuye el significado del concepto de *intersección*, de naturaleza geométrica, a lo que es más bien *coincidencia* en el dominio de lo físico, al afirmar que la intersección entre espacio y tiempo da lugar a un *punto* y, puesto que el punto es indivisible, entonces la realidad es discontinua. Si bien es cierto que toda intersección es una coincidencia, no toda coincidencia es una intersección, al menos en el sentido geométrico que está aplicando Eugeni D'Ors aquí. Espacio y tiempo, en la concepción determinista, coinciden pero no intersectan. La intersección se da entre E... y T..., que son sus representaciones gráficas, cuando sustituimos las nociones de espacio y tiempo por sendos ejes de coordenadas. Por lo tanto, el punto que resulta de esta intersección no puede abandonar su sentido metafórico cuando hablamos de la constitución de la materia o del universo en general. Lejos de intentar defender si el veredicto final es que la constitución última de la realidad sea continua o discontinua, nos limitamos aquí a señalar que no es éste el camino para su demostración.

Tampoco un punto es una entidad física sino un ente de razón, por definición, carente de dimensión, y precisamente esto es lo que le permite ser constituyente de continuidad. Por supuesto, siempre en el plano de la geometría abstracta, en el que se mantenía Aristóteles para definir y describir estas nociones ya que, recordemos, el instante, en tanto que límite carente de dimensión que, como el punto, no compone sino que constituye el tiempo, no tiene realidad por sí mismo sino como propiedad o accidente de las cosas físicas en tanto que son móviles y en tanto que esta movilidad es numerable, es decir, es capaz de ser concebida o percibida por el alma humana. El punto carente de dimensión no es componente sino constituyente de la línea: la línea no es una suma o adición de éstos.

Así, pues, en nuestra opinión, el discurso de Eugenio D'Ors incurre también en la tan extendida confusión de geometría y física de la que, como él mismo señala, es extremadamente susceptible por sus características la teoría de la relatividad. No

---

<sup>415</sup> D'ORS, E. *Las aporías de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo*, op. cit p. 132.

obstante esta discusión, tampoco en el terreno de la física más experimental está resuelta la dialéctica entre ambos términos: las partículas elementales parecen ostentar tanto las propiedades discretas de la discontinuidad corpuscular como las características propias del comportamiento continuo de los fenómenos ondulatorios. Podría ser que, una vez más, la realidad nos sorprendiera con la superación de otra dicotomía, lo que nos lleva a un dominio de mayor amplitud en el que se dan la mano lo muy grande y lo muy pequeño. En esta línea, la ciencia contemporánea no escatima esfuerzos encaminados a comprender la relación que pueda existir entre las leyes que rigen el comportamiento de los cuerpos en el universo y las que dominan el mundo de las partículas elementales en una incansable búsqueda en la que se sumergen las diversas teorías de la unificación. Y este escenario afecta a la concepción de tiempo en diferentes aspectos, en algunos de los cuales nos detendremos a continuación.

## 5.6 El concepto de tiempo relativista

### 5.6.1 *El tiempo y la teoría de la unificación*

Como afirma Mario Castagnino, la integración de la teoría de la relatividad y la física cuántica constituye un paso decisivo en el camino de la unificación de la física que da lugar a la *teoría cuántica de campos*. Las partículas subatómicas pueden alcanzar velocidades cercanas a la de la luz y sus interacciones, que constituyen las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, se caracterizan cada una de ellas por su campo específico: son la interacción fuerte y la interacción débil –entre las partículas del núcleo atómico-, la interacción electromagnética - entre las partículas con carga- y la interacción gravitacional –entre todo tipo de partículas. Las tres primeras fuerzas son objeto de estudio de la *teoría cuántica de campos* ya que las partículas materiales interactúan entre ellas mediante el intercambio –en forma de emisión o de absorción- de cuantos de fuerza, también denominados *partículas mediadoras*.

Dicha unificación -de la mecánica cuántica con la teoría de la relatividad especial- puso de manifiesto un problema: mientras que en la mecánica cuántica el tiempo  $t$  es un número real y las coordenadas espaciales  $x$ ,  $y$ ,  $z$  son magnitudes físicas observables, en la relatividad especial ocurre que  $t$  se mezcla con  $x$ ,  $y$ ,  $z$  en la transformación de Lorentz, con lo que aquí nos encontramos con una combinación

de entidades matemáticas –números- con entidades físicas observables. La naturaleza del tiempo, pues, es marcadamente distinta en uno y otro dominio de la física, lo que no hace sencilla su unificación.

Por otra parte, aunque en la actualidad los dos pilares de la física son la teoría cuántica y la teoría de la relatividad -una describe el microcosmos y la otra el macrocosmos proporcionando explicaciones coherentes allí donde la teoría newtoniana fracasa-, sin embargo, a diferencia de la mecánica newtoniana, ambas teorías se caracterizan por un elevado nivel de abstracción que nos aleja de la visión intuitiva del mundo que proporcionan los sentidos.

Fue Paul Dirac (1902-1984) quien elaboró la *teoría mecánica cuántico-relativista*, unificación de ambas teorías con la que reajustaba la teoría cuántica cuando se trataba de velocidades cercanas a la velocidad de la luz. Sin embargo, ambas teorías presentan grandes diferencias que todavía hoy impiden su reunión en una única teoría coherente. La relatividad general explica el campo gravitatorio mientras que los otros tres campos o fuerzas –electromagnético, nuclear fuerte y nuclear débil- caen bajo el exclusivo dominio de la teoría cuántica. Y precisamente era el sueño de Einstein lograr esta unificación definitiva en una teoría unificada de campos que pudiera dar razón tanto del macrocosmos como del microcosmos.

En cuanto a la luz, hoy somos capaces de describir su comportamiento pero seguimos sin poder determinar su naturaleza. De hecho, no sabemos con exactitud qué es un electrón o cualquier otra partícula. Cuando nos acercamos a objetos cada vez más pequeños la indeterminación aparece de forma inevitable. Y también permanece inexplicada la relación existente entre los cuatro campos o fuerzas fundamentales de la naturaleza, es decir, el vínculo entre la teoría cuántica y la relatividad general.

En las interacciones débiles se encontró por primera vez una asimetría temporal “en las ecuaciones de la teoría misma y no sólo de sus soluciones, como habíamos visto hasta ahora (el descubrimiento es de los años 50 y 60). Se puede hablar entonces de una flecha temporal de las interacciones débiles (FTD)”,<sup>416</sup> por lo que se puede hablar de una *flecha temporal* en este campo, una flecha que no es de tipo convencional sino substancial y única en su género. Esta asimetría se relaciona

---

<sup>416</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo: una visión filosófica y científica*. Buenos Aires: Catálogos, 2006, p. 305.



con la asimetría encontrada en el Universo entre la cantidad de materia y la cantidad de antimateria, cuya proporción determina precisamente el destino final de su evolución y su velocidad de expansión.

Sin embargo, a excepción de esta fuerza -la fuerza nuclear débil-, las leyes de la física contienen tres simetrías fundamentales: la *simetría temporal* (T) o invariancia de las leyes bajo la inversión temporal, la *simetría de paridad* (P) o invariancia de las leyes bajo la reflexión de uno de los ejes de coordenadas espaciales, de tipo especular y que origina la diferencia entre izquierda y derecha y, en tercer lugar, la simetría de *conjugación de carga* (C) o invariancia de las leyes bajo el cambio de materia con antimateria. Según el teorema conocido como el teorema CPT, una transformación de Lorentz equivale a una inversión C seguida de una inversión P y de una inversión T y frente a las transformaciones de Lorentz todas las leyes de la física –incluida la interacción débil- son invariantes.

Pero –como señala Castagnino- estas tres simetrías de las leyes físicas no son simetrías del universo real: en primer lugar, en lo que se refiere a T es evidente que en el universo, el pasado y el futuro no son equivalentes. El universo tiene historia y es, por lo tanto, asimétrico. En segundo lugar, en cuanto a la simetría de paridad P que afecta al espacio

la derecha no es igual a la izquierda en el cosmos. En la naturaleza hay objetos dotados de una quirilidad (o “helicidad”) bien definida. Un objeto es “quiral” si una transformación P no lo deja invariante. Prácticamente todos los aminoácidos de las proteínas, por ejemplo, son sustancias cuyas moléculas son quirales (levógiras), lo que puede considerarse una propiedad general de los organismos, como había intuido Pasteur. Las partículas vinculadas a las interacciones débiles (como los neutrinos) tienen también quirilidad.<sup>417</sup>

En cuanto a C, es manifiesto que en la realidad física no existe esta simetría entre materia y antimateria –la antimateria sólo aparece en reacciones entre partículas de forma inestable. De hecho, el estado actual del cosmos se explica a partir de un ligero exceso de la cantidad de materia sobre la cantidad de antimateria en los inicios del universo. De lo contrario hoy únicamente habría radiación. “En consecuencia, esta asimetría es también propia del objeto-universo y no de sus

---

<sup>417</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo. op.cit.* p. 308.

leyes”.<sup>418</sup> Por lo tanto, se constatan tres asimetrías fundamentales, además de la descubierta en la fuerza débil que, también, es de carácter nomológico.

En lo que respecta a la flecha temporal dibujada en el universo por la segunda ley de la termodinámica –conocida como *ley de entropía*– imponiendo en él la irreversibilidad, Einstein, sin embargo, teniendo en cuenta la reversibilidad que caracteriza a las leyes físicas que operan en el mundo cuántico, es decir, su carácter *nomológicamente asimétrico*, llegará a afirmar: “Para nosotros, que creemos en la física, la división entre pasado, presente y futuro sólo tiene el valor de una obstinada ilusión”.<sup>419</sup>

Aunque las leyes físicas de la teoría de la relatividad no son asimétricas, sí aparece la asimetría en el cosmos. En el primer modelo cosmológico que propuso Einstein a partir de la teoría de la relatividad general introdujo la constante universal o cosmológica con el fin de evitar la evolución temporal del cosmos y, así, mantenerlo estático. Pero la realidad, lejos de adecuarse a este modelo, mostró su dinamismo a escala global cuando se constató su movimiento de expansión. La expansión del universo, pues, permite señalar una flecha a nivel global, establecer una asimetría temporal que permitirá distinguir el pasado del futuro. Y, puesto que el presente se caracteriza por el movimiento permanente y continuo, es posible, de este modo, establecer el sentido del curso de los acontecimientos.

La existencia de diversas flechas o direcciones asociadas a diversos procesos irreversibles presentes en el cosmos no implica necesariamente la diversidad de flechas temporales. En el caso de una eventual contracción del universo, por ejemplo, no estaríamos ante un proceso reversible ya que los acontecimientos que se sucederían en tal caso no consistirían en la reconstrucción de lo destruido, en desandar el camino andado. La contracción seguiría teniendo una relación temporal con la expansión que reflejaría su carácter irreversible en la medida en que la contracción se daría con posterioridad a la expansión y su frenado.

Las leyes físicas son, como le ocurre al tiempo, algo de las cosas, no tienen un carácter ontológicamente substancial; no tienen existencia independientemente de la realidad física de la que se predicán; sólo mientras haya entidades físicas habrá

---

<sup>418</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *ibid.*

<sup>419</sup> EINSTEIN, A. *Carta al hijo y hermana de Besso*, 21 de marzo de 1955, en *Albert Einstein. Opere scelte*, Turín: E. Bellone, 1988, p.707, citado en CASTAGNINO, M.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo: una visión filosófica y científica. op.cit.*, p. 93.

leyes físicas por las que las cosas se rigen. Por otra parte, así como un universo vacío de materia impediría hablar de movimiento y, por lo tanto, de leyes y de tiempo, también la concepción de un infinito material en el universo impediría postular una dirección temporal universal: los diferentes modelos de universo compatibles con el *Big Bang* se postulan en función de una mayor o menor densidad de materia presente en el universo, pero ésta, a pesar de que incluso podría ser *indefinida* en virtud de su constante dinamismo –en el universo se da una constante creación y destrucción de partículas- siempre tendrá un valor finito: la aparentemente contradictoria expresión de *finito ilimitado* recoge esta idea.

En lo que respecta a la relatividad especial, como señala Reichenbach, si bien se determina aquí una relación de orden temporal, no se puede hallar el sentido de un orden temporal global debido a la ausencia de un sistema de referencia que ostente una posición privilegiada. En este contexto todos los sistemas de referencia son equivalentes y la reciprocidad intrínseca a esta idea impide el establecimiento de una fecha temporal.

En tanto que la relatividad especial es la unificación de la mecánica y el electromagnetismo, sus ecuaciones son simétricas en lo que respecta al parámetro temporal, como lo son las ecuaciones de la mecánica y las del electromagnetismo – a diferencia del tiempo del espacio-tiempo curvo de la relatividad general, que hereda su asimetría convencional de la teoría de campos y de la mecánica cuántica-. En este sentido se puede decir que el espacio de Minkowski es temporalmente orientable a un nivel no local sino global. Aunque el tiempo aquí es un concepto relativo, su dirección y sentido, sin embargo –la flecha del tiempo- es absoluta pues no hay más que un sentido del tiempo, independientemente de los sistemas de referencia que se consideren. Y esto es así porque aunque el tiempo es una coordenada que varía con el cambio de sistema de referencia, su flecha está estrechamente ligada a la estructura geométrica de los conos de luz, que es absoluta. En cuanto a su topología, precisamente por el hecho de estar ligado a un espacio que es homogéneo e isótropo, el tiempo de la relatividad especial no puede ser sino una recta.

### 5.6.2 Relatividad general y cosmología

La concepción clásica de la atracción gravitatoria como una acción instantánea a distancia implica que, si la masa de un objeto sufre un cambio en un momento

dado, la fuerza que esa masa ejerce sobre otro cuerpo situado a una distancia de él
 variaría de forma simultánea. En ese caso, si esto fuera así podríamos –en virtud de
 la tercera ley de Newton de acción y reacción- transmitir información de forma
 instantánea simplemente modificando la masa de un cuerpo. Pero sabemos que no
 pueden transmitirse mensajes a una velocidad mayor que la velocidad de la luz y
 este problema llevó a Einstein a negar la gravedad. Pero los fenómenos
 gravitatorios requerían una explicación y, para ello sustituyó en espacio-tiempo de
 Minkowski en el que se inscribía la teoría de la relatividad especial, que tenía las
 características del espacio euclidiano y era plano, por un espacio de Riemann, que
 es curvo. Y esta novedad es clave para el desarrollo de la teoría de la relatividad
 general pues “con este cambio se pueden considerar los sistemas no inerciales, que
 estaban excluidos en relatividad especial, y ahora encuentran cabida en la
 geometría de los *espacios curvos*.”<sup>420</sup>

La relatividad general es fundamental en la cosmología contemporánea, disciplina
 que pertenece al dominio de la astrofísica y la física y a la que la relatividad general
 proporcionó la posibilidad de estudiar de forma sistemática la dinámica del universo
 en su conjunto. Sobre una superficie curva la geometría no es euclidiana: mientras
 que en la geometría euclidiana, la suma de los ángulos interiores de un triángulo
 suma siempre  $180^\circ$ , la suma de los ángulos internos de un triángulo inscrito en la
 superficie de una esfera no es  $180^\circ$  sino que sus tres ángulos pueden ser rectos, en
 cuyo caso su suma es  $270^\circ$ , siendo en todos los otros casos superior a  $180^\circ$ ; el
 teorema de Pitágoras no se cumple en una geometría no euclidiana. “En definitiva,
 la geometría bidimensional que estudia las figuras sobre superficies no planas sino
 curvas (como la esfera) no es euclidiana. Este concepto nos permite entender su
 aplicación a los sistemas no inerciales”.<sup>421</sup>

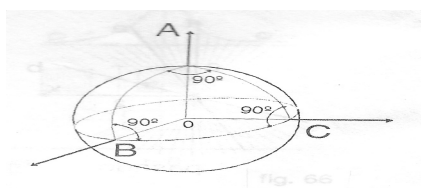


Figura 6. Triángulo sobre una esfera:  
 la suma de sus ángulos suma  $270^\circ$

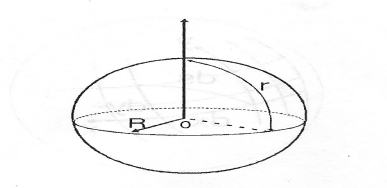


Figura 7. La fórmula  $2\pi r$  no vale  
 sobre la esfera

De este modo, lo que en el paradigma clásico era fuerza gravitacional ahora se
 entendía en clave de la estructura curvada del espacio-tiempo. Y en este contexto,

<sup>420</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo. op. cit.* p. 312.

<sup>421</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *ibid.*

en el que se hablará, ya no de sistemas de referencia inerciales sino de sistemas de referencia en general, el lugar que antes ocupaban las trayectorias de cuerpos en movimiento rectilíneo uniforme, ahora lo ocupan las líneas geodésicas. Así, mientras que el espacio de Minkowski que aplica la relatividad especial es un espacio plano en el que no cabe la consideración de la materia y las fuerzas que la acompañan,

La nueva teoría es “general”, ya que no está más restringida a los sistemas inerciales, sino que vale en todos los sistemas de referencia posibles. El axioma de relatividad es entonces generalizado a: *todas las leyes físicas son válidas en todos los sistemas de referencia*, si en las mismas se toma en consideración un adecuado espacio-tiempo curvo.<sup>422</sup>

El sistema inercial que maneja la relatividad especial es un sistema de coordenadas en movimiento y, por tanto, sin delimitar, que llena todo el espacio plano, sin embargo el espacio-tiempo curvo de la relatividad general no es válido para representarlo -ya que no es posible inscribir un plano en una esfera- de manera que pasa a constituir un sistema local, es decir, válido únicamente en una pequeña región. A escala local, pues, sí es posible definir sistemas inerciales puesto que el espacio-tiempo curvo puede considerarse localmente como plano. “Naturalmente los efectos relativistas son importantes sólo cuando están en juego fuertes aceleraciones o fuertes campos gravitatorios (dos elementos que resultan equivalentes en la teoría)”<sup>423</sup>.

Así, -como señala Castagnino<sup>424</sup>- las leyes fundamentales de la relatividad general afirman dos cosas:

- a) todo punto material, no afectado por ninguna fuerza –excepto la gravitatoria- tiene por trayectoria espacio-temporal una línea geodésica.
- b) el espacio-tiempo de la relatividad general es una variedad riemanniana.

Las ecuaciones de Einstein son la base de la cosmología contemporánea y describen la curvatura espacio-temporal de un universo en el que la gravitación es una función de la distribución de materia y su movimiento. En este escenario la métrica espacio-temporal y la distribución de materia se identifican y, con ello

---

<sup>422</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo. op. cit.* p. 313.

<sup>423</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *op. cit.* p. 314.

<sup>424</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *ibid.*

desaparece el antiguo dualismo atomista entre espacio vacío y materia. Aquí, el espacio-tiempo plano de Minkowski constituye el caso particular en el que la densidad de materia y energía presente es nula y, por tanto, no hay gravitación y las geodésicas son líneas rectas.

El tiempo de la relatividad general es heredado de la relatividad especial y, por lo tanto, también es un tiempo de naturaleza derivada y convencional. La medición operacional del tiempo que introduce la relatividad especial es importante en la propia noción de tiempo de la relatividad: este tiempo se obtiene –tanto en la relatividad especial como en la generalizada- a partir de la consideración de los movimientos de los rayos de luz y de las partículas materiales. Si nos mantenemos a escala local podríamos establecer una descripción de los sucesos simultáneos. “Una vez determinados los eventos próximos simultáneos a un evento dado, podemos reproducir el procedimiento basándonos en estos eventos próximos, para obtener eventos simultáneos más lejanos.<sup>425</sup> Y así podríamos ampliar la zona de simultaneidad hasta abarcar todo el espacio sincronizado. Pero con los sistemas de referencia de la relatividad general no es posible aplicar este procedimiento ya que el sincronismo sólo se da a nivel local. Y

esta falta de sincronismo hace que en relatividad general no se pretenda trabajar con sistemas de referencia sincronizados y que raramente se acuda a esta propiedad, a causa de su inseguridad. El personaje protagonista de la relatividad general son las geodésicas y sus tiempos propios, no los sistemas de referencia”.<sup>426</sup>

El espacio a escala global es homogéneo, a pesar de su estructura irregular a una escala menor puesto que las estructuras se repiten de manera uniforme y esto permite afirmar el *principio cosmológico* de su isotropía según el cual en el universo no hay zonas o direcciones privilegiadas pues en él no hay posibilidad de distinción de direcciones absolutas.

La segunda característica fundamental del universo es su proceso de expansión que se manifiesta en la progresiva separación entre galaxias -no entre otros objetos como las estrellas-,<sup>427</sup> y del cual se puede concluir que cuanto más hacia atrás en el

---

<sup>425</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo. op. cit.* pp. 321-322.

<sup>426</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *op. it.* p. 322.

<sup>427</sup> En 1929 Hubble descubrió que las galaxias se separan entre sí a una velocidad que es proporcional a sus distancias relativas, conocida como la *constante de Hubble*, que corresponde a la tasa de alejamiento desacelerado de las galaxias por unidad de distancia y que en el presente se estima entre 50 y 100 km/seg por megaparsec (un Mpc equivale a unos tres millones de años

pasado dirijamos nuestra atención más juntas se encontraban las galaxias entre sí, hasta formar una masa continua de alta concentración. Y esto es lo que permite calcular la edad aproximada del universo -estimada en alrededor de 15.000 millones de años-. Así lo explica Castagnino:

Este comienzo corresponde a un tiempo  $t=0$  para el universo, antes del cual ( $t<0$ ) no se puede concebir el cosmos pues a  $t=0$  comienza el espacio-tiempo y la materia misma, ya que ambos están ligados inseparablemente por las ecuaciones de Einstein y no pueden existir uno sin el otro. En este sentido se ha hablado de “creación de cosmos en  $t=0$ .”<sup>428</sup>

La relatividad general ofrece una explicación de estas características del cosmos. Y en base a la expansión se puede configurar una *flecha del tiempo geométrica global*. Así, “llamaremos *futuros* a los semiconos en dirección de la expansión creciente y *pasados* a los de sentido contrario. Orientamos el eje de la coordenada  $t$  en dirección de la expansión, es decir, hacia los semiconos futuros”.<sup>429</sup> Se trata de un modelo que admite tres posibilidades que dependen del protagonismo que adquiera la atracción gravitatoria; protagonismo que, a su vez, depende de la densidad del cosmos; estas tres posibilidades son la de un universo abierto, un universo crítico o un universo cerrado. Y aquí se inscribe la teoría del *Big Bang*:

La teoría fue propuesta de modo independiente por Friedmann y Lemaître en los años 20 y enriquecida por Gamow en los años 40. Posteriormente fue integrada con el modelo standard de las partículas elementales, en los años 70. Corresponden algunas aclaraciones: 1.-Las galaxias se separan “entre sí” con movimiento uniforme y homogéneo. En consecuencia esa expansión se observa de manera análoga desde cualquier galaxia. 2.-Análogamente, si vamos hacia atrás en el tiempo, desde cualquier galaxia veremos acercarse todas las otras, de modo que cada galaxia puede considerarse como centro de esa contracción. Ambos hechos son lógica consecuencia de la homogeneidad del universo.<sup>430</sup>

La teoría del *Big Bang* favorece la tesis del nacimiento del tiempo, de un *momento cero* del tiempo que viene asociado al concepto de *singularidad*. Como nos explica Javier Tejada:

---

luz). Las galaxias se separan entre sí con movimiento uniforme y homogéneo por lo que la expansión se observa del mismo modo en cualquier dirección.

<sup>428</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo*. *op. cit.* pp. 324-325.

<sup>429</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *op.cit.* p. 325.

<sup>430</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *op.cit.* p. 324.

Hubble concluyó sus trabajos de la única manera posible: el Universo se expande. Pero si el Universo se expande y retrocedemos en el tiempo concluiremos que existió el *Big Bang*, que es como se denomina a la explosión de un volumen infinitamente pequeño y que dio origen a nuestro Universo hace veinte mil millones de años. Las ecuaciones de Einstein de la Relatividad General describen de forma elegante y bella tanto el *Big Bang* como la expansión del Universo.<sup>431</sup>

En los años ochenta, aparece en escena la versión inflacionaria del *Big Bang* de la mano de Alan Guth, que supone que, antes de las fases de la aparición de materia y radiación, el universo primitivo pasó por una fase de *inflación* caracterizada por un crecimiento acelerado.

El universo cerrado o limitado puede serlo en sus dos extremos, origen y fin, o sólo en el fin. El universo abierto presenta también todas las variantes concebibles: sin límite en ninguno de sus extremos o, como es el caso compatible con la teoría del *Big Bang*, con un origen definido en un momento cero y sin final, considerando el *Big Bang* como el momento  $t=0$  -aunque no falta quien especula con la idea de un universo nacido en el seno de un universo *anterior* que lo abarcaría, lo que nos llevaría a la posibilidad de un modelo de universo cerrado pero sin origen o  $t=0$ -. Al universo cerrado le corresponde la geometría propia de una superficie esférica unitaria de tres dimensiones -un universo que, “tras expandirse durante un tiempo, se detiene y comienza a contraerse, terminando con radio cero en el llamado *Big-Crunch*”.<sup>432</sup> El universo abierto se corresponde con la geometría de una superficie hiporboleide, tridimensional y homogénea. Y entre ambos panoramas se considera también la posibilidad de un *universo crítico* que, como el *universo abierto*, se expandiría indefinidamente llegando a una situación-estado de *muerte térmica* -en consonancia con la ley de la entropía- denominada *Big-Chill*:

el modelo de *universo crítico*, situado justamente en el punto límite entre la geometría *cerrada y abierta*, que corresponde a una geometría tridimensional plana o euclidiana e ilimitada. Los datos observacionales disponibles hasta ahora sobre la densidad media del cosmos parecen favorecer el modelo crítico pero estamos aun lejos de la solución definitiva del problema.<sup>433</sup>

Así, pues, de cómo sea la evolución del universo dependerán las características topológicas del tiempo que le corresponda. La geometría trata dos aspectos

---

<sup>431</sup> TEJADA, J.; CHUDNOVSKY, E.; PUNSET, E. *El templo de la ciencia. Los científicos y sus creencias*. Barcelona: Ediciones Destino S.A., 2008, p. 71.

<sup>432</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo. op. cit.* p. 325.

<sup>433</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *op.cit.* p. 326.



diferentes de las cosas: uno cualitativo, que es su estructura topológica, y otro cuantitativo, que hace referencia a su métrica y se consideran propiedades topológicas aquellas que -a diferencia de lo que ocurre con la métrica- persisten bajo cualquier modificación o deformación concebible -por ejemplo, la propiedad de *ser cerrada e ilimitada* que tiene una circunferencia-. Así, cuestiones tales como si el universo tiene un comienzo o si tiene o no un final son cuestiones topológicas que hacen referencia a la estructura geométrica del cosmos. Y los distintos modelos topológicos tienen también su correspondencia con los diversos conjuntos de los números (enteros, naturales y racionales):

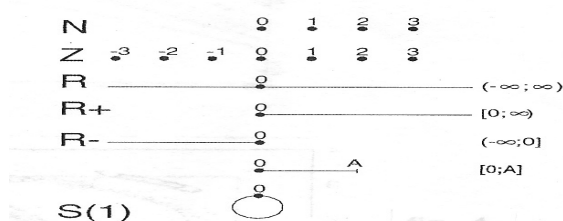


Figura 8. Topologías temporales

En este sentido son diversas las posibilidades que puede presentar la estructura matemática del tiempo, como se representa en la figura precedente: si hablamos de un tiempo con la estructura de los números enteros ( $Z$ ), estamos pensando en un tiempo discontinuo, discreto, constituido por la serie de instantes, uno tras otro, en relación de contigüidad, (por ejemplo los *cronones*) cuya duración habría de ser muy corta dado el aspecto continuo que ofrece la experiencia temporal. Por el contrario, en el caso de que el tiempo tuviese la estructura de los números reales ( $R$ ) se trataría de un tiempo continuo -y lo mismo podríamos decir en relación a un segmento de  $R-$ . En tercer lugar, podemos postular un tiempo cuya estructura sea  $S(1)$ , en el caso de que queramos denotar un tiempo cíclico, además de continuo.

De las tres topologías, la más intuitiva y aceptada por la comunidad científica es la segunda, de los números reales, en la que también podemos distinguir diferentes posibilidades: si elegimos la topología correspondiente a una recta, tendremos un tiempo que irá de menos infinito a mas infinito -en este caso, puesto que ambos límites son formalmente idénticos, la estructura no nos permite postular una única dirección en el tiempo que tenga carácter substancial-; si tomamos una semirrecta como modelo tendremos un tiempo que comenzará en un tiempo  $t=0$  y cuyo extremo opuesto tendrá un límite infinito -aquí sí podemos definir una dirección y sentido únicos para la flecha del tiempo ya que ambos extremos son

ontológicamente diferentes: uno es un valor, un número concreto, el otro es un límite que representa un extremo abierto por lo que la dirección que va del pasado al futuro no es equivalente a la inversa, la que va del futuro al pasado-; el caso inverso al *Big Bang*, en el que el universo se moviera desde una muerte térmica hacia el *Big Bang* sería representado por la semirrecta opuesta, cuyo primer extremo es un límite infinito y cuyo segundo extremo es el cero. Por último, si elegimos un *segmento* para representar la estructura topológica del tiempo -en el cual el tiempo comenzaría en  $t=0$  y terminaría en un momento posterior concreto  $t'$ -, tendríamos un tiempo cerrado que dificultaría la definición de una flecha temporal si ambos extremos fueran formalmente idénticos.

Como hemos apuntado, la evolución que siga el universo dependerá de la proporción existente en él entre la cantidad de materia y de antimateria, lo que se conoce como *constante cosmológica A*. Constante que había introducido Einstein, con valor nulo, con el fin de eludir la inestabilidad cósmica y, de este modo, obtener un universo estático en el tiempo aunque “luego reconoció haberse equivocado [...]”. Hoy, ciertas mediciones cosmológicas indican que su valor no es nulo y además es positivo”.<sup>434</sup>

Además de la expansión, se constata un progresivo enfriamiento del universo que también permitiría hablar de una historia en el universo, con dirección y sentido, su *historia térmica* –donde el *tiempo de Planck*, por ejemplo, corresponde a los primeros segundos en los que se concentra una elevada actividad cuántica a una temperatura de  $10^{32}$  °C, también llamada *temperatura de Planck*-. Según la teoría del *Big Bang*, debido a ambos fenómenos –expansión y enfriamiento progresivo:

la evolución creciente del radio del universo produce primero la *rotura de las simetrías originales*, o sea la diferenciación progresiva de las interacciones fundamentales y luego la aparición de las estructuras *siempre más complejas* que hoy pueblan el universo. *Cada cambio ocurre en un momento preciso de la historia del tiempo cósmico*. El estado del universo en dicho tiempo determina las características de las estructuras diferenciadas que siguen, por ejemplo, las proporciones recíprocas entre las partículas, que luego condicionan el desarrollo sucesivo. De esta manera se fija la proporción 7/1 entre protones/neutrones, de la que nacerá la posterior proporción entre el hidrógeno (74%) y el helio (25%) del cosmos, o bien la proporción materia/antimateria, o protón/fotón ( $1/10$  elevado a 10) de la que depende la densidad

---

<sup>434</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo. op. cit.* p. 326.

de un universo y en consecuencia la existencia (o no) de un universo “crítico”, con su tasa precisa de expansión.<sup>435</sup>

Y en este escenario la teoría de la relatividad general permite hablar de la evolución del universo en la era de la radiación y en la era de la materia. Sin embargo, la asimetría temporal que se postula en la relatividad general es de naturaleza *convencional* pues, en realidad, todas sus ecuaciones son simétricas en lo que se refiere al parámetro  $t$ . Por esta razón la topología resultante en esta teoría es la de la recta real  $R$ , con extremos infinitos positivo y negativo. Pero la cosmología, en cambio, muestra una clara flecha temporal de naturaleza *substancial* en virtud de que la expansión de universo implica una evidente asimetría *de hecho* lo que permite afirmar que hay una *flecha del tiempo cosmológica* según la cual llamamos *futuro* a la dirección hacia la que se expande el universo y, *pasado* a la dirección contraria.

Por su parte, la *flecha temporal electromagnética* que se desprende de la historia del universo en virtud de la presencia de esta fuerza y de su evolución en el cosmos, aunque, -como dice Castagnino- está vinculada a estados asimétricos, también es de carácter substancial: aparece esta flecha temporal en el momento en que se deduce la no existencia de campos electromagnéticos en el pasado remoto.<sup>436</sup>

Todas las flechas temporales, pues, apuntan en una misma dirección. Tanto si nos encontramos en un modelo de universo crítico en expansión que se dirige a su equilibrio térmico como si se trata de un modelo de universo abierto, las flechas temporales parecen estar coordinadas. Incluso en un universo cerrado que acabase con la contracción o colapso gravitatorio en el que la flecha temporal cosmológica se invertiría, no necesariamente se invertirían las demás.<sup>437</sup> La conclusión más aceptada por la comunidad científica es que, dada una eventual contracción cósmica no se reordenaría el cosmos -no volvería sobre sus pasos, no desandaría el camino andado-, y la entropía de las estructuras continuaría aumentando. Esta asimetría temporal global, denominada *flecha geométrica del tiempo* es, pues,

---

<sup>435</sup> CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J.J. *Tiempo y universo. op. cit.* p. 329.

<sup>436</sup> Hoy se sabe que en los primeros estadios del universo el hidrógeno en estado de cuerpo negro absorbía toda la radiación hasta el momento en que se produjo el *desacople* de la materia con la radiación.

<sup>437</sup> Stephen Hawking proponía en un principio que en esta situación la flecha temporal termodinámica invertiría su sentido pero posteriormente aceptó la alternativa contraria llegando incluso a reconocer que había cometido el mayor error de su carrera.

considerada como flecha patrón y parece justificado vincularla con las demás flechas temporales.

En cuanto a su estructura global, el espacio a nivel cosmológico se presenta plano, lo que significa en realidad que puede ser representado mediante una geometría plana como la geometría euclidiana tridimensional. Únicamente esta geometría aparece alterada en las zonas cercanas a los objetos celestes –estrellas, planetas, agujeros negros- que modifican la curvatura espacial a nivel local, pero el universo a gran escala es homogéneo, isótropo y plano.

Por otra parte, como hemos visto, la teoría de la relatividad general trae consigo la fusión de las nociones de materia y energía en una categoría ontológica. Si la materia puede transformarse en energía también la energía se puede transformar en materia -aunque lo más habitual es el primer proceso: las partículas pueden destruirse y dar origen a un campo que adquiere su energía, sin embargo, el proceso contrario también se da.<sup>438</sup>

Sin embargo, en el ámbito cosmológico, que es el dominio de la gravitación, nos encontramos ante una geometría en variación continua a causa de la expansión, lo que constituye un campo gravitatorio variable que continuamente crea partículas – especialmente en los primeros instantes del universo.

## 5.7 Consecuencias de la teoría de la relatividad

La teoría de la relatividad afecta, no sólo al significado de los conceptos de espacio y tiempo, sino al de prácticamente todas aquellas nociones que se ven implicadas en el dominio de la física. Con ella se van a remover incluso los cimientos del propio concepto de física. Con el nuevo espacio-tiempo tenemos un universo dinámico, en virtud de la incorporación del tiempo en la descripción del universo, de los fenómenos y en la definición del propio universo y su naturaleza. Las distancias espaciales deben ser definidas en clave temporal y, así lo han tenido en cuenta

---

<sup>438</sup> En el ámbito de la experimentación también se ha observado un proceso denominado *scattering* en el que intervienen altos niveles de energía y muy altas velocidades y cuya medición requiere el establecimiento de zonas absolutamente exentas de perturbaciones que pudieran ser debidas a cualquier campo de fuerzas; zonas, éstas, en las que no hay ni producción ni destrucción de partículas. Es lo que se conoce como *vacío cuántico*, que equivale a la ausencia de partículas reales.

pensadores como Reichenbach o Carnap a la hora de intentar fundamentar las relaciones causales. Así pues,

no hay “instantes universales”; o, según palabras de A. A. Robb, “un instante no puede estar en dos lugares a la vez”. *Mi instante presente está aquí y en ninguna otra parte.* Esto no significa que se niega la existencia de “allí”, o, como decía Eddington, de “en otra parte”; lo que se niega es únicamente su supuesta correlación instantánea con “aquí-ahora”. “Ahora” es inseparable de “aquí”.<sup>439</sup>

En este sentido –señala Capek- el significado originario de la palabra *presente*- la expresión latina *prae-esse* significa *próximo*- tanto en su aspecto temporal como en el espacial, es suficientemente elocuente. Así pues, mientras que el espacio clásico podía imaginarse como cada uno de los eslabones -cada una de las relaciones de yuxtaposición- de una cadena, que se suceden unos a otros dando lugar a una serie de distintos espacios instantáneos, como los fotogramas de una película- en el espacio relativista esto no es posible: aquí no hay simultaneidad, no hay un instante universal y, tampoco, por tanto, una sucesión de instantes. Ahora, en lugar de cosas hay acontecimientos o sucesos y, en lugar de relación de simultaneidad hay acontecimientos en relación de *contemporaneidad*, hay intervalos en lugar de instantes.

*No hay “allí-ahora”; hay solamente la relación de independencia entre “ahora-aquí” y toda la serie de “ahora” sucesivos en otra parte.* La cuestión de cuál de estos “ahora” se declara como simultáneo con mi “aquí-ahora” depende del ángulo de referencia, o sea, del convencimiento en definitiva. De forma análoga, una determinación retrospectiva de la emisión de luz que de Andrómeda llega a nuestros ojos ahora resultará diferentemente para diferentes observadores. Así no se puede establecer la simultaneidad de sucesos distantes, ni siquiera retrospectivamente. Esto sólo puede tener un significado: la simultaneidad *no existe*.<sup>440</sup>

La contemporaneidad se predica de una serie de sucesos que *duran*, que ocupan un intervalo de tiempo. Como afirma Capek, se trata de la co-presencia de Whitehead o el *en otra parte* de Eddington. Lo que ocurre en la escala de nuestros sentidos es que “el intervalo que contiene todos los sucesos independientes es tan pequeño que es prácticamente instantáneo; de aquí nuestra creencia espontánea en “allí-ahora”.<sup>441</sup> Ahora bien, cuando abandonamos esta escala para considerar

---

<sup>439</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p 225.

<sup>440</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. ibid.*

<sup>441</sup> CAPEK, M. *op. cit.* p 227.

intervalos espaciotemporales de mayor envergadura desaparece la apariencia de simultaneidad.

Y de la contemporaneidad -que es simultaneidad de intervalos- no es posible pasar a la instantaneidad -simultaneidad de instantes- porque, como ya estableció Aristóteles, y se ocupó Bergson de recordar, el tiempo no está compuesto por instantes sin duración ni se compone de una sucesión de estados instantáneos.

Con el advenimiento del concepto de campo y su poder tanto explicativo como representativo de los fenómenos físicos, la noción de partícula deja de ser la imagen adecuada que era. La noción de campo viene a ocupar el lugar y a cumplir las funciones que cumplía la partícula, que era entendida como corpúsculo claramente delimitado en su perímetro estableciendo la frontera radical entre dos mundos: el de dentro y el de fuera. Esta frontera se diluye en el campo de fuerzas llevándose consigo la distinción entre vacío y lleno, entre continente y contenido, por un lado, y la distinción entre materia y energía, por otro.

En este aspecto la teoría de la relatividad parece alejarse notablemente del universo cualitativo de Aristóteles pues, ahora, todo es cuestión de grado: una mayor o menor concentración de energía es lo que determina que hablemos energía o de materia; a mayor o menor distancia del área de concentración habrá un mayor o menor efecto de la fuerza gravitatoria y, lo que es lo mismo, más o menos curvatura del espacio-tiempo.

El principio de equivalencia iguala la inercia con la gravedad; la masa del electrón es un efecto de su velocidad y, por tanto, el movimiento es causa de transformación también del espacio-tiempo. La materia ha perdido, así, su consistencia mientras que el espacio se ha materializado en cierto modo, dejando de ser aquella idea abstracta que posibilitaba el movimiento y, por lo tanto, fundamentaba la física en tanto que mecánica, pero que no podía nunca ser su objeto.

En virtud del dinamismo que le ha sobrevenido, el concepto de substancia ha dejado paso a la noción de proceso. La inestabilidad que ahora padece el concepto de materia se ve corroborada por hechos tales como que un fotón sólo tiene masa mientras se encuentra en movimiento, o que la radiación cósmica consta de partículas de muy corta vida. Como afirma Capek:

Mientras que el número de las partículas descubiertas se ha incrementado de una manera casi alarmante, su conducta difiere en dos aspectos fundamentales de las propiedades de los átomos newtonianos y daltonianos: *no son ni indestructibles ni increables*. Según la idea de Niels Bohr, que hoy se acepta generalmente, incluso la emisión de radiación beta, que se compone de electrones negativos, no debe ser concebida en el sentido clásico como una eyección de las partículas que *realmente preexisten dentro del núcleo*, sino que debe ser considerada como un proceso de creación, en el que las partículas *son creadas* durante su eyección, lo mismo que los fotones son creados mediante el proceso de emisión. La idea expresada por Bialobrzewski hace aproximadamente un cuarto de siglo acerca de que las partículas dentro de los núcleos existen en un estado *potencial* más que real fue una anticipación filosófica correcta del presente estado de la física nuclear.<sup>442</sup>

Así, entra en escena el concepto de *suceso* o *acontecimiento* para substituir al de partícula. Pero es que, incluso el mismo concepto de movimiento ya no es el que era. Donde hablábamos de desplazamiento ahora hablamos de cambio, de transformación. El concepto de movimiento, como Aristóteles dejó bien claro, es subsidiario, es accidente de las cosas que se mueven y, puesto que éstas han sufrido cambios, lo mismo le ha ocurrido a él. Al no haber ya partículas corpusculares entendidas como entidades substanciales que conservan su identidad en el tiempo, que permanecen, su movimiento es ahora de otra naturaleza. Y tampoco está ya el continente, el espacio pasivo absoluto, estático y homogéneo en el que se desplazaba aquel corpúsculo. Todo son dificultades para que pueda mantenerse en pie el viejo modelo conceptual.

El área de mayor concentración de energía en torno a la cual se halla el campo gravitatorio -en densidad decreciente en función de la distancia- y de la que surge el campo electromagnético extendiéndose en todas direcciones -con intensidad igualmente decreciente- eso es la materia ahora. Materia que es una con el espacio-tiempo en continua transformación. Materia que es la deformación local del espacio-tiempo. Y ya no es adecuado postular un marco externo a esta entidad para ubicarla y en el que se mueva ya que esto nos llevaría a tener que postular un espacio-tiempo dentro de otro espacio-tiempo que requeriría la misma operación.

Desde un punto de vista estrictamente matemático no hay nada incorrecto en tal procedimiento: nuestro espacio no euclidiano puede estar localizado en el espacio euclidiano de cuatro dimensiones, que, a su vez puede estar contenido en espacios de un número mayor de dimensiones. Pero desde el punto de vista epistemológico, tal

---

<sup>442</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 265.

materialización de las abstracciones matemáticas es altamente sospechosa, en particular si observamos que todo el procedimiento ha sido motivado por nuestro deseo inconsciente de salvar el concepto clásico de movimiento como *desplazamiento de algo con respecto a algo*.<sup>443</sup>

La materia y la energía ya no se desplazan por el espacio sino que *son* el espacio-tiempo en transformación. De hecho, el propio concepto de espacio-tiempo es él, en su esencia, un proceso, como lo es también la materia toda.

Por todo ello, las leyes de la geometría euclidiana no son válidas en este *continuum* que es el espacio-tiempo relativista donde las distorsiones espacio-temporales se propagan del mismo modo que se propagan las ondas; es más, todo cambio en el mundo físico se reduce a esta clase de variación. En este orden de cosas hablar de una variación de la distorsión local o de la curvatura espacio-temporal viene a ser lo mismo: se denota con ello lo que nuestra percepción registra como desplazamiento de un cuerpo material. En otras palabras, “lo que la física clásica consideraba como movimiento de un cuerpo de un lugar a otro se describe en términos relativistas como *transformación intrínseca* de ambos lugares adyacentes”.<sup>444</sup>

Así, pues, una partícula física, en tanto que distorsión espacio-temporal, lejos de ser instantánea se extiende por todo el universo como un *proceso* que, en tanto que tal, consume tiempo lo que, al negar la existencia de conexiones instantáneas en el universo, viene a abundar en la ya señalada consecuencia relativista de la negación de la simultaneidad absoluta de sucesos distantes y, con ello, del concepto de *totalidad del universo* entendido como el mundo en un instante o el instante universal.

El espacio ha perdido su homogeneidad, pero ahora es heterogéneo en un sentido distinto al que ostentaba el espacio aristotélico, que era un universo orientado por tener centro y periferia, y en el cual se podían señalar zonas cualitativamente distintas. El espacio-tiempo relativista está en continuo cambio y carece de zonas o puntos de referencia privilegiados. Con éste no se afirma la diversidad cualitativa sino que se trata, más bien, de una diversidad de carácter cuantitativo: todo cambio físico se reduce a una variación de la curvatura espacio-temporal. Pero –como señala Capek– las diferencias entre varias regiones de un campo gravitatorio y, en particular, la diferencia entre el propio campo y su centro, son diferencias dinámicas

---

<sup>443</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 272.

<sup>444</sup> CAPEK, M. *op. cit.* p. 276.



reales que pueden bien ser consideradas cualitativas permitiendo con ello rechazar la homogeneidad propia del espacio y del tiempo clásicos.

Ante la dicotomía que caracteriza al pensamiento occidental en lo que se refiere a la cuestión del movimiento -como cambio de posición respecto al espacio absoluto, para la física clásica o, como cambio de posición respecto a algún cuerpo material, como defendería Leibniz en su concepción relacional-, la relatividad se decanta por esta segunda opción. Y, en cuanto a su naturaleza o condición, la teoría de la relatividad se situaría en una posición muy cercana a la de Bergson al considerar el movimiento como la transferencia de un estado más que como la traslación de una cosa.

Como señala Antoni Prevosti, mientras que el concepto de movimiento cartesiano se limita al movimiento local de la materia o de los cuerpos, abandonando todo rastro de la dialéctica *acto-potencial* introducida por Aristóteles -lo que desembocará en una visión mecanicista del mismo- y, por otra parte, la idea kantiana de movimiento como una sucesión de estados parece plantear problemas, Bergson propone una concepción de tiempo completamente distinta y desconcertante “afirmando el movimiento sin móvil. Para él, la suposición aristotélica de un sujeto permanente en el cambio pertenece a la misma clase de concepciones que olvidan la realidad del tiempo al pensar el movimiento como sucesivos estados inmóviles”.<sup>445</sup>

En el paradigma clásico el movimiento era algo externo a la materia. La ley de conservación de la materia y la ley de conservación del movimiento eran dos leyes distintas; el movimiento debía conservar su independencia de la materia. Pero, como ya hemos visto, la teoría de la relatividad suprime también esta distinción: la masa ahora varía en función de la velocidad; más aún, toda forma de energía -incluida la energía de movimiento o cinética- hace variar la masa inercial total de un sistema. La ley de conservación de masa y la de energía se fusionan en una ley más abarcadora que afirma la conservación de ambas.

Aunque esta fusión de las dos leyes originalmente independientes en una sola ley hace que sea intelectualmente más agradable la paradoja de masa variable, viene a obscurecer su tremendo significado revolucionario. Pues no hay duda de que la

---

<sup>445</sup> PREVOSTI MONCLÚS, A. *La física d'Aristòtil. op. cit.* p. 298. (Traducción propia).

fórmula de Einstein para la dependencia de la masa respecto de la velocidad acaba con otra básica distinción clásica: la que existe *entre la materia y el movimiento*,<sup>446</sup>

En otras palabras, la célebre fórmula de Einstein vendría a abolir la diferencia clásica entre *substancia* y *cambio*, la antigua dialéctica entre *ser* y *devenir*. Y esto es debido, entre otras cosas, a que el concepto de energía tiene un significado más amplio en la teoría de la relatividad que el que tenía en la física clásica: a diferencia de lo que le ocurría a las partículas de esta última, allí donde hay materia hay energía: la energía tiene masa y la masa energía. De alguna manera, Leibniz se acercaría a esta energetización de la materia cuando afirmaba que incluso la impenetrabilidad es de naturaleza dinámica. Y esta energetización relativista de la materia tiene implicaciones revolucionarias para la historia de la ciencia. Implica que la energía de la masa también es de naturaleza ondulatoria, como el resto de la energía.

Y la investigación de *qué* debían ser las ondas y, *de qué* eran –pues si eran ondas, debían ser ondas *de algo*– se inició con la esperanza de interpretar las vibraciones asociadas a las partículas como vibraciones de algún medio material pero las cosas no han resultado ser de este modo: las vibraciones no son vibraciones de algo sino que son inherentes a las propias entidades materiales. O mejor dicho, constituyen las propias partículas en tanto que, ahora, estas son entendidas como sucesos.

En este escenario Whitehead propuso la superación de la paradójica dualidad onda-partícula negando la continuidad matemática del tiempo al postular –en su obra *Concept of Nature*, publicada en 1920– la posibilidad de la existencia de los *quanta* de tiempo y, cuestionando, además la idea tradicional según la cual el tiempo se compone de instantes sin duración. Como señala Capek, la insuficiencia de los conceptos de continuidad espacial y temporal empujó a algunos físicos a postular el carácter discontinuo tanto del tiempo como del espacio. Pero –añade Capek:

hablar de la separada existencia de *hodones* y *cronones* delata el hábito prerrelativista de pensamiento; las dos nociones deben unirse en un solo concepto de *pulsación* espaciotemporal.[...] Son inseparables; mientras que la indivisibilidad de los cronones excluye la divisibilidad infinita de los intervalos temporales, el valor finito del hodón expresa el hecho de que las líneas universales no son infinitamente delgadas, sino que poseen *espesura transversal*, aun cuando esta espesura no puede ser considerada en su sección transversal instantánea. Utilizando el lenguaje relativista podemos decir que

---

<sup>446</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 283.

los tiempos propios de los electrones están constituidos por la sucesión de cronones, siempre que no olvidemos la inseparabilidad relativista de los cronones respecto de los hodones;<sup>447</sup>

En definitiva, el efecto transformador de la teoría de la relatividad –tanto especial como general- es de tal calibre que podemos decir que con la teoría de la relatividad se produce un cambio de paradigma en la historia de la ciencia, tanto a nivel teórico como empírico.

---

<sup>447</sup> CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea. op. cit.* p. 292.



## CAPÍTULO 6

### LA CRÍTICA DE BERGSON AL CONCEPTO DE TIEMPO DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL

Como no podía ser de otro modo, en la arena de la filosofía y de la ciencia del momento histórico en que se produce la revolución conceptual que traerá consigo la teoría de la relatividad –las últimas décadas del siglo XIX y las primeras del XX– tiene lugar un intenso debate, de interesantes consecuencias para el pensamiento contemporáneo y que, todavía en nuestros días, no está cerrado.

Una de las voces que más ha trascendido en la discusión en torno al concepto de tiempo de la teoría de la relatividad es la de Henri Bergson, cuyo novedoso planteamiento ha tenido una importante influencia en el pensamiento filosófico posterior. Dedicaremos este último capítulo a poner de relieve las líneas generales de la reflexión de Bergson en lo que respecta al concepto de tiempo que se desprende de la teoría de la relatividad especial.

#### 6.1 La duración como fundamento de la realidad

Bergson se rebela contra la tradición racionalista inaugurada por Descartes reivindicando un espiritualismo más directamente vinculado con la experiencia humana. El pensamiento de Bergson supone un intento de recuperar para la filosofía el aspecto intuitivo y metafísico que había perdido con la emergencia del positivismo materialista y para reconduce la filosofía para devolverla al dominio de la intuición. Y esta empresa se centra en el concepto de duración como intuición fundamental.

En *La evolución creadora*, su obra más original e influyente en su época, parte de la observación de la conciencia como la experiencia psicológica más cotidiana para mostrar qué es lo que subyace a todas nuestras experiencias, qué las hace posibles. Método que, dicho sea de paso, mucho nos recuerda al que utilizara Descartes aunque, donde éste encontró el *cogito*, Bergson hallará la duración.

La existencia de la que más seguros estamos y la que mejor conocemos es, indiscutiblemente, la nuestra, pues de todos los demás objetos tenemos nociones que podemos considerar exteriores y superficiales, mientras que a nosotros mismos nos percibimos interiormente, profundamente. ¿Qué es lo que comprobamos entonces? ¿Cuál es, en este caso privilegiado, el sentido preciso de la palabra *existir*? [...] Observo, en primer lugar, que paso de un estado a otro. Tengo calor o tengo frío, estoy alegre o estoy triste, trabajo o no hago nada, miro lo que me rodea o pienso en otra cosa. Sensaciones, sentimientos, voliciones y representaciones son modificaciones entre las que mi existencia se divide y que, a su vez, la colorean. Cambio, pues, incesantemente.<sup>448</sup>

Es nuestra atención la que separa artificialmente nuestros estados de conciencia. Pero los estados de conciencia no son algo fijo, no permanecen nunca iguales a sí mismos, están cambiando constantemente y no se da una diferencia esencial entre uno y otro.

La aparente discontinuidad de la vida psicológica se debe a que nuestra atención se fija en ella en una serie de actos discontinuos: donde sólo hay una suave pendiente, creemos distinguir, siguiendo la línea quebrada de nuestros actos de atención, los peldaños de una escalera [...] Cada uno de ellos no es más que el punto mejor iluminado de una zona movediza que comprende todo lo que sentimos, pensamos y queremos, todo lo que, en fin, somos en un momento dado. Esa zona entera es lo que, en realidad, constituye nuestro estado [...] Mas la discontinuidad de sus apariciones se destaca de la continuidad de un fondo en el cual se dibujan y al cual deben los intervalos mismos que los separan; son los golpes del timbal que suenan de tarde en tarde en la sinfonía.<sup>449</sup>

No son, dichos eventos, unos distintos de los otros, unos que siguen a los otros de forma indefinida. O dicho de otra manera, es la tensión psicológica de nuestra conciencia la que hace posible ese tiempo vivido, un tiempo que no es una suma de momentos, sino una prolongación del presente; un presente que, a su vez, es una acumulación del pasado, como luego veremos. No es una operación que lleva a cabo un *yo impasible* que ordena, según una relación estática espacio-temporal, objetos y acontecimientos externos. Si así pensamos, lo que obtendremos será “una imitación artificial de la vida interior”. El mejor ejemplo de lo que estamos diciendo es, precisamente, el tiempo. Nuestro tiempo, el tiempo psicológico, no es el tiempo homogéneo y uniforme del reloj: nuestros momentos son más cortos o más largos en función de nuestra tensión existencial del momento vivido; momentos de

---

<sup>448</sup> BERGSON, H. *La evolución creadora*. Madrid: Espasa Calpe, p. 15.

<sup>449</sup> BERGSON, H. *op. cit.* p. 16.

creación sobre el futuro inmediato. Y este tiempo es el tejido con el que construimos nuestra vida psicológica.

No hay tejido más resistente ni más sustancial. Pues nuestra duración no consiste en un instante que reemplaza a otro instante; sólo habría entonces presente, y no una prolongación del pasado en lo actual, una evolución, una duración concreta. La duración es el continuo progreso del pasado que va comiéndose al futuro y va hinchándose al progresar. [...] En realidad, el pasado se conserva por sí mismo, automáticamente. Todo él nos sigue en todo momento: lo que sentimos, pensamos y quisimos desde nuestra primera infancia está ahí, inclinado hacia el presente que va a juntarse con él, presionando contra la puerta de la conciencia que quisiera dejarlo fuera.<sup>450</sup>

Lo que hacemos, pues, depende de lo que somos; es como si nos creáramos constantemente y, por eso, el dominio de la vida escapa al dominio de la física. Descubrimos, pues, en la profundidad de la conciencia, al hombre como ser temporal. Para la física, la duración pertenece al mundo de las cosas, cuyo tiempo considera materializado en el espacio, pero el tiempo psicológico -la verdadera duración- es nuestra propia esencia, algo puramente cualitativo. Las imágenes que obtengo en mi percepción sensible de la realidad, o bien las yuxtapondré o bien las relacionaré entre sí como se relacionan las notas de una melodía, de manera que formen lo que llamaremos una multiplicidad indistinta o cualitativa, sin ningún parecido con el número: de esta forma obtenemos la idea de la duración pura, pero también nos deshacemos, con ello, de la idea de un mundo homogéneo o de una cantidad mensurable.

Para Bergson lo que siempre se ha llamado *tiempo* es duración real. Y duración es movimiento, cambio constante; no hay una concatenación de momentos concretos. La ilusión de su divisibilidad proviene de que el movimiento, una vez efectuado, ha dejado a lo largo de su recorrido una trayectoria inmóvil sobre la que se pueden contar tantas inmovilidades como se quiera. Pero esas inmovilidades ya no tienen tiempo, no duran. Son abstracciones teóricas útiles para la ciencia, basadas en un concepto de tiempo espacializado, cuantitativo y, por consiguiente, abstracto, no real. Esta espacialidad es la que dota de homogeneidad al tiempo de las ciencias haciendo posible su medida. Pero es la conciencia el ámbito donde en primera instancia localizamos el tiempo verdadero, que es el tiempo como duración.

---

<sup>450</sup> BERGSON, H. *La evolución creadora*. op. cit. p. 18.

Suponer que el móvil está en un punto de su recorrido es hacer un corte en su trayecto interrumpiéndolo en ese punto; es pasar de considerar una única trayectoria a considerar dos trayectorias sucesivas.

Así pues, la realidad de la duración reside en dos ámbitos que son el *yo* y el *tiempo*, ambos amenazados por un enemigo común: el espacio. Una espacialidad que enturbia e impide nuestro acceso y contacto con lo más profundo de nuestra conciencia. Y la duración aquí es entendida como multiplicidad cualitativa pues es éste el carácter propio de las vivencias psíquicas, que no deben tratarse de modo cuantitativo ya que no son susceptibles de medición. En los procesos psíquicos no encajan ni el tiempo de la tradición científica y filosófica, ni el espacio, ni la causalidad.

La inteligencia –afirma Bergson- se encuentra estrechamente vinculada al espacio, hasta el punto de que las características de éste están determinadas por las limitaciones de aquélla. Para Bergson, la misma concepción clásica del espacio como un medio vacío y homogéneo responde a una necesidad práctica de la inteligencia que, cuando trabaja en el ámbito de lo material, se encuentra condicionada por la percepción y su necesidad de fijar puntos inmóviles para hacer posible el movimiento de la materia y, con ello, el cambio en la naturaleza. Así, la inteligencia pasa a interpretar el movimiento como una serie de posiciones y el devenir como una serie de estados de manera que la sucesión se impone a la duración y, así, el tiempo pierde su naturaleza más esencial.

Pero, puesto que la totalidad de nuestra experiencia es duración, Bergson propone, como ya adelantábamos al principio, la intuición como forma de conocimiento para superar las limitaciones de orden práctico que nos imponen la percepción y la inteligencia, puesto que la intuición es un conocimiento que aprehende la realidad en su pureza originaria, como duración continua, heterogénea y creadora, sin la mediación de símbolos que, por su carácter espacial, distorsionan dicha aprehensión. La tradicional analogía entre el tiempo y el espacio es sólo superficial y se debe a la espacialidad que se incorpora en el tiempo en dos procesos: el de su medición y el de su simbolización, que supone una imposición de la imagen sobre el concepto. El error –afirma- consiste en aplicar al conocimiento de los procesos psíquicos las mismas categorías con que se considera la materia, lo que da como resultado una conciencia aparentemente compuesta de una multiplicidad de distintos estados en sucesión. Bergson señala que la noción de número se



construye sobre el espacio –sobre el aspecto externo del espacio- y no sobre el tiempo real. Y es en torno a la discusión sobre este concepto –el de número- que, en su *Ensayo sobre la materia y la conciencia* se irá dibujando su concepto de duración. Mientras que el número es discreto y consiste en la multiplicidad cuantitativa de entidades homogéneas en una relación de yuxtaposición –como lo es el espacio clásico-, que permite la reversibilidad, la duración es la sucesión continua e irreversible de cambios cualitativos.

Es verdad que contamos los momentos sucesivos de la duración, y que, por sus relaciones con el número, el tiempo se nos aparece primero como una magnitud mensurable, completamente análoga al espacio. Pero hay que hacer aquí una importante distinción. Digo, por ejemplo que acaba de transcurrir un minuto y entiendo por esto que un péndulo, que marca los segundos, ha ejecutado sesenta oscilaciones. Si me represento sesenta oscilaciones de un golpe y por una sola percepción del espíritu, excluyo por hipótesis la idea de una sucesión; pienso, no en los sesenta segundos que se suceden, sino en sesenta puntos de una línea fija, cada uno de los cuales simboliza, por decirlo así, una oscilación del péndulo. Si, por otra parte, quiero representarme estas sesenta oscilaciones sucesivamente, pero sin cambiar nada en su modo de producción en el espacio, deberé pensar en cada oscilación excluyendo el recuerdo de la precedente, porque el espacio no ha conservado de ella ningún rasgo: pero por esto mismo me condenaré a permanecer sin cesar en el presente; renunciaré a pensar una sucesión o una duración. Y si, en fin, conservo junto a la imagen de la oscilación presente, el recuerdo de la oscilación que la precedía, ocurrirá una de estas dos cosas: o yuxtapondré las dos imágenes, y recaeremos entonces en nuestra primera hipótesis; o percibiré la una en la otra, penetrándose y organizándose entre sí como las notas de una melodía, de manera que formen una multiplicidad indistinta o cualitativa, sin ninguna semejanza con el número: obtendré así la imagen de la duración pura, pero también me habré desprendido de la idea de un medio homogéneo o de una cantidad mensurable.<sup>451</sup>

Consideramos la serie completa en relación de yuxtaposición, ignorando su proceso de formación en el acto de medir, pero la duración se presenta a la conciencia inmediata como cualidad y no como cantidad “y conserva esta forma mientras no cede el lugar a una representación simbólica, sacada de la extensión”.<sup>452</sup> Bergson señala que el mecanicismo considera el tiempo como una sucesión de instantes pero en la duración real, por el contrario, los instantes se *sueldan* y es precisamente esta continuidad indivisible del cambio lo que constituye la duración verdadera. Es la conciencia la que capta el tiempo verdadero como duración, el tiempo,

<sup>451</sup> BERGSON, H. *Ensayo sobre los datos inmediatos de la conciencia*. En *Bergson, obras escogidas*. Madrid: Ed. Aguilar, 1963, pp. 123-124.

<sup>452</sup> BERGSON, H. *op.cit.* p. 140.

irreversible, sucesión cualitativa, nunca idéntico a sí mismo y, por todo ello, creador de realidades.

La memoria ontológica fundamenta dos atributos de la duración que la diferencian del espacio: la heterogeneidad y la irreversibilidad. Su heterogeneidad consiste en que, lejos de presentar un único ritmo, la duración tiene tantos ritmos como grados de *tensión* y no hay un único flujo temporal sino que hay múltiples duraciones, tantas como diversidad de naturalezas. En cuanto a la irreversibilidad, el surgimiento de cada nuevo momento que se añade a los ya conservados por la memoria constituye una novedad irrepitable ya que al momento presente se le suma toda la experiencia pasada. Gracias a ello es posible que haya cambio y que este cambio sea creador. En la duración, pues, *no hay cosas sino progresos* –y, en este sentido, cosa es a progreso como objeto es a movimiento, lo estático a lo dinámico o *lo hecho a lo haciéndose*-. Más tarde, en *Materia y memoria*, Bergson irá atenuando este marcado dualismo y considerará sólo una cuestión de grado la diferencia entre lo cuantitativo y lo cualitativo, lo que se refleja en los distintos ritmos temporales que se dan en la naturaleza, es decir, la diversidad o multiplicidad de duraciones que caracteriza a la realidad.

La duración, afirma Bergson una y otra vez, es lo que cambia por naturaleza, es pura heterogeneidad. No es el tiempo que manejan las ciencias. El mecanicismo considera las partes como lo fundamental en detrimento del todo y de este modo el tiempo como tal resulta inútil e incluso irreal: todo es previsible y todo está dado. Es una realidad quieta sin movimiento, una realidad muerta donde aunque se nombra al movimiento *no se piensa en absoluto en lo que designa*. En cuanto atribuimos homogeneidad a la duración estamos introduciendo en ella el espacio subrepticamente. Y esto ocurre cuando consideramos a los estados de conciencia como estados separados y externos entre sí, construyendo lo que podríamos llamar una *duración impura*. Pero la duración para nuestra experiencia es algo muy distinto. Su rasgo es la diferencia, la pura heterogeneidad, y también la irreversibilidad: es una *corriente que no se puede remontar*. Irreversibilidad que caracteriza la propia conciencia, que es negación del concepto de espacio debido a que es fuera de nosotros que éste se encuentra. La duración, como el gradual enriquecimiento del yo, es el modo de ser propio y espontáneo de la conciencia. Ambas, duración y conciencia, se constituyen bajo la misma tensión.

Y este carácter irreversible de la duración que es característico de la conciencia por ser su ámbito privilegiado no se circunscribe a ella sino que también se da el ámbito de la vida y en el de la realidad objetiva, como por ejemplo en procesos químicos más elementales. La conciencia mantiene un radical paralelismo en su estructura con toda la realidad.

Bergson afirma que la realidad es siempre una constante creación, una constante irrupción de novedad, de momentos preñados de pasado que constituyen un presente que inmediatamente se sumerge para dar paso a ese futuro que no es: éste es el caso de nuestra vida interior.

Si para llegar a la idea del Ser, se pasa (consciente o inconscientemente) por la idea de la nada, el Ser al que se llega es una esencia lógica o matemática, intemporal en su origen. Y desde ese momento se impone un concepto estático de lo real; todo parece, en él dado de una sola vez, en la eternidad. Mas hay que habituarse a pensar el Ser directamente, sin dar ningún rodeo, sin dirigirse primero al fantasma de la nada [...]. Hay que procurar aquí ver para ver, y no ver para actuar.<sup>453</sup>

Y lo que vemos, lo que sentimos, es la sucesión de cambios cualitativos, no la sucesión cuantitativa de los infinitos puntos que constituyen una línea recta. Sucesión en constante movimiento, en constante cambio, sucesión de *pura heterogeneidad*. Y eso sólo lo percibimos en el interior, una vez más, de nuestra conciencia cuando dirigimos la mirada para *ver*, para comprender la realidad y no para actuar sobre ella. Y, por eso, la duración no es multiplicidad cuantitativa sino multiplicidad cualitativa.

Aunque el tiempo del mecanicismo no es el tiempo real, precisamente por eso, al cosificarlo, al detenerlo, este tiempo de la ciencia permite crear modelos artificiales que son útiles al conocimiento científico pero no para la comprensión de la naturaleza verdadera del tiempo.

La duración -el tiempo real- es el movimiento en tanto que un solo acto y no en cuanto actos sucesivos y, por eso, es irreversible. Para la conciencia es imposible repetir cualquier momento anterior dado que todo momento es único con sus propias circunstancias y condiciones.

---

<sup>453</sup> BERGSON, H. *La evolución creadora. op. cit.* p. 261.

De esa supervivencia del pasado se deriva la imposibilidad, para la conciencia, de atravesar dos veces el mismo estado. Por más que las circunstancias sean las mismas, ya no actúan éstas sobre las mismas personas, pues la encuentran en un nuevo momento de su historia. Nuestra personalidad, que se debate en cada instante con la experiencia acumulada, cambia sin cesar. Al cambiar impide que un estado, aunque superficialmente sea idéntico a sí mismo, se repita en su fondo. Por ello es irreversible nuestra duración.<sup>454</sup>

Así, pues, las inmovilidades con las que tratan las ciencias no tienen duración, son - afirma Bergson- abstracciones artificiales proyectadas sobre el recorrido del móvil que, en realidad, siempre está realizando trayectos cualitativos y no saltos cuantitativos. Cuando cortamos la trayectoria paramos el movimiento y cesa la duración, el tiempo. Zenón -dice Bergson- entendía la distancia conceptualmente, artificialmente, troceando el movimiento en momentos concretos parados y, por consiguiente, no podía entender la carrera como lo que era: un solo acto en movimiento o, lo que es lo mismo, la duración como esencia de la carrera.

No existe ni el pasado puro ni el presente puro ni, mucho menos, el futuro puro; no hay ninguna prioridad de unos tiempos sobre otros. Pasado y futuro son, como acabamos de decir, momentos de la conciencia soldados en el presente y -lo que nos parece más importante- sólo en ella adquieren su realidad, sólo desde ella se cargan de su verdadero sentido antes de ser espacializados.

Bergson, en definitiva, desplaza el absoluto de la homogeneidad temporal del mecanicismo para reivindicar la duración del tiempo puro, que es cualidad, interioridad, duración, devenir, continuo e indivisible, inconmensurable y fundamento de toda realidad. Realidad que ahora adquiere un carácter heterogéneo, cualitativo, irreversible, de proceso en sucesión creativo, como lo es la conciencia. La duración, como la existencia originaria de una continuidad sucesiva, dinámica e irreversible, es elevada con Bergson a la categoría de fundamento ontológico de un cierto *psicologismo metafísico*.

En definitiva, en el concepto de *duración* que defiende Bergson se concentra lo más esencial de su filosofía, que puede ser entendida como el gran intento de despojar al tiempo de la espacialidad a la que la historia del pensamiento le ha ido sometiendo paulatinamente y que ha llevado a suplantar el tiempo real -que para Bergson es el tiempo psicológico- que es heterogéneo y cualitativo, por el tiempo

---

<sup>454</sup> BERGSON, H. *La evolución creadora. op. cit.* p. 19.

matemático, homogéneo y cuantitativo que es producido artificialmente por la ciencia.

## 6.2 El tiempo relativista no es múltiple sino uno

Y llegamos a la obra de Bergson más significativa en lo que al objeto de nuestro estudio se refiere: su obra intitulada *Duración y simultaneidad*, que constituye la réplica bergsoniana a algunos de los aspectos más fundamentales de la teoría de la relatividad especial de Einstein. En ella Bergson reafirma su idea de un único *tiempo universal*: una misma duración que abarca todas las duraciones y según la cual dos flujos -exteriores el uno con respecto del otro- son simultáneos cuando ocupan la misma duración al insertarse ambos en la duración de un tercero -que es el flujo de nuestro discurrir psicológico.

Esta concepción del tiempo como un único tiempo universal se opone frontalmente a la concepción que aporta la teoría de la relatividad, según la cual habría tantos tiempos como sistemas de referencia. Pero esta oposición sólo es aparente ya que, según Bergson, la teoría de la relatividad correctamente interpretada incluso refuerza la idea de un tiempo universal. Para él -y para otros pensadores y científicos de su tiempo- la teoría de la relatividad no proporciona una descripción de la realidad sino únicamente un determinado orden matemático que trata el Universo como un conjunto de relaciones y no de cosas.

En esta obra Bergson pretende averiguar si la idea de tiempo que se desprende de la teoría de la relatividad es compatible con el concepto de duración que él defiende. Las paradojas de la teoría de la relatividad -los tiempos múltiples, simultaneidades que con el cambio de punto de vista se vuelven sucesiones y viceversa- lo son debido a una errónea interpretación. Estas tesis tienen un sentido físico muy concreto que Einstein ha extraído de las ecuaciones de Lorentz, pero es necesario averiguar cuál es su significación filosófica. Y este análisis bergsoniano de las tesis de Einstein mostrará que éstas no sólo no contradicen, sino que confirman la creencia intuitiva que tiene el ser humano en un tiempo único y universal viniendo, además, a completar el concepto de duración defendido por Bergson.

Los experimentos de Michelson-Morley mostraron que las cosas ocurren como si la velocidad de la luz en relación a la Tierra fuese constante. Este hecho Lorentz lo explicaba postulando el fenómeno, no perceptible, de la contracción longitudinal de los cuerpos en el sentido de su movimiento y, puesto que esta contracción afecta tanto al cuerpo como al objeto de medición de la dimensión de dicho cuerpo, no puede ser detectada. Además, es necesario añadir, como ya hemos visto, la dilatación del tiempo y la dislocación de la simultaneidad. Sin embargo, cuando sea necesario construir una representación matemática integral del universo sí será necesario tener en cuenta estas modificaciones, cuyas proporciones quedan recogidas en las ecuaciones de Lorentz.

La anterior descripción es denominada por Bergson *relatividad unilateral* o *semi-relatividad* para distinguirla de la teoría de la relatividad de Einstein a la que denomina *relatividad de la reciprocidad*. Bergson señala que Einstein conservará tal cual en su teoría la contracción de los cuerpos, la dilatación del tiempo y la dislocación de la simultaneidad, además de las ecuaciones de Lorentz, pero aporta una novedad: la reciprocidad de todas ellas que, aunque ya está implícita en las ecuaciones de Lorentz, Einstein hará explícita.

Bergson sostiene, además, que en la teoría de la relatividad permanece el tiempo absoluto en tanto que tiempo único y, también, el espacio en tanto que extensión independiente de la duración: en el momento en que se considera inmóvil un sistema inercial se convierte en un punto de referencia absoluto eventual; “el reposo absoluto, expulsado por el entendimiento, es restablecido con la imaginación”.<sup>455</sup> Y, aunque esto es válido para el matemático, no lo es para el filósofo porque

si S está en reposo absoluto, y todos los otros sistemas en movimiento absoluto, la teoría de la Relatividad implicará efectivamente la existencia de Tiempos múltiples, todos sobre el mismo plano y todos reales. Si, por el contrario, uno se sitúa en la hipótesis de Einstein, los Tiempos múltiples subsistirán pero no habrá jamás allí sino uno solo real, como nos proponemos demostrarlo: los otros serán ficciones matemáticas.<sup>456</sup>

Según la teoría de la relatividad de Einstein, podemos considerar como sistema de referencia cualquiera de ellos y, por lo tanto, establecer el movimiento relativo de los

---

<sup>455</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad. (A propósito de la teoría de Einstein)*. Buenos Aires: Ediciones del Signo, 2004. p. 68

<sup>456</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad. Ibid.*

demás con respecto a éste. Se trata, pues, de una reciprocidad absoluta del movimiento. Y, al no haber un punto de referencia absoluto, fijo, al no haber un sistema privilegiado, no es posible distinguir el movimiento del reposo del sistema en que un observador se encuentra. Todavía más cuando, recordemos, ya no se cuenta con el éter como referencia para establecer el movimiento absoluto.

Es importante -dice Bergson- no confundir la relatividad radical de Einstein con la relatividad unilateral o atenuada, confusión que ha sido la causa de la interpretación errónea -con resultados paradójicos en lo que al tiempo se refiere- que se ha hecho de la teoría de la relatividad especial.

Por otra parte, la simultaneidad se fundamenta, en última instancia, en la experiencia interior de la duración. Y el paso de este tiempo interior al tiempo de las cosas, al tiempo del mundo material, se produce gradualmente: se establece una correspondencia de cada momento de nuestra vida interior con cada momento de nuestro propio cuerpo, y también de nuestro entorno material más inmediato que le sería *simultáneo*, y, extendiendo esta operación se produce la idea de una *Duración universal*. Así, “la simultaneidad sería precisamente la posibilidad para dos o varios acontecimientos de entrar en una percepción única e instantánea”.<sup>457</sup>

Pero –señala Bergson- en todo este proceso es necesario discernir qué hay de experiencia real y qué de hipótesis. La hipótesis la hace el sentido común al extrapolar nuestra propia duración interna a la duración interna de otras múltiples conciencias semejantes a la nuestra, dando lugar así a la unidad de un Tiempo impersonal. Y la teoría de Einstein vendría a confirmar la idea –hipotética también- de un tiempo común a todas las cosas. En definitiva: “no se puede hablar de una realidad que dura si no introducimos en ella la conciencia”.<sup>458</sup> Para concebir la sucesión, el vínculo entre un momento anterior y otro posterior es necesario que intervenga la memoria y, por tanto, la conciencia. Y este tiempo, el tiempo de la duración, es el tiempo real y no es susceptible de medición.

La medida que no es puramente convencional implica, en efecto, división y superposición. Ahora bien, no se podrían superponer unas duraciones sucesivas para verificar si son iguales o desiguales; por hipótesis, una no está cuando aparece la otra; la idea de igualdad comprobable pierde aquí toda significación. Por otra parte, si la duración real se hace divisible, como vamos a ver, por la solidaridad que se establece

---

<sup>457</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad*. op. cit. p. 85.

entre ella y la línea que la simboliza, ella consiste en sí misma en un progreso indivisible y global.<sup>459</sup>

Lo que dividimos es lo ya concluido en virtud de que, al simbolizarlo espacialmente, tenemos acceso a todas sus partes simultáneamente, pues éstas se encuentran en una relación de yuxtaposición. Sin embargo, la duración real consiste en el propio desarrollo, en el *desarrollarse* de esta línea dibujada que es el registro del movimiento, de la trayectoria y se convierte en su símbolo; pero no puede sustituir al propio movimiento pues uno y otro son de naturalezas completamente distintas: el movimiento tiene duración, no se muestra todo de una vez y, por tanto, no es susceptible de medición porque no es divisible mientras que la trayectoria de ese movimiento ya concluido es espacial no tiene duración.

Bergson señala la clara distinción entre contemporaneidad y simultaneidad definiendo ambos conceptos en términos de percepción de flujos. Así, dos flujos son contemporáneos cuando

son para mi conciencia *uno* o *dos* indiferentemente, percibiéndolos mi conciencia juntos como un desarrollo único si le place dar un acto indiviso de atención, distinguiéndolos por el contrario completamente si prefiere repartir su atención entre ellos, incluso haciendo uno y otro a la vez, si decide repartir su atención y, sin embargo, no cortarla en dos. Llamo *simultáneas* a dos percepciones instantáneas que son captadas en un único y mismo acto del espíritu, pudiendo aquí todavía la atención hacer de ellas una o dos, a voluntad.<sup>460</sup>

La simultaneidad primaria, que no es simultaneidad de instantes sino de flujos es, por tanto, de carácter psicológico y es la que nos permite establecer todo el resto de simultaneidades. Así, llamamos “simultáneos a dos flujos exteriores que ocupan la misma duración porque se insertan uno y otro en la duración de un tercero, el nuestro”,<sup>461</sup> y cuando nuestra conciencia considera únicamente a éste, esta duración es únicamente la nuestra, pero se vuelve también la de ellos cuando nuestra atención los aprehende en un solo acto indivisible.

Y “toda duración es espesa”, es decir, el tiempo real no tiene instantes. La concepción del instante es producto de la analogía con el punto espacial a partir de

---

<sup>458</sup> BERGSON, H. *op. cit.* p. 87.

<sup>459</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad. op. cit.* p. 89.

<sup>460</sup> BERGSON, H. *op. cit.* pp. 91-92.

<sup>461</sup> BERGSON, H. *op. cit.* p. 93.



la simbolización del tiempo en una línea. Pero el instante no tiene duración, sólo es límite o extremo de intervalo de tiempo como el punto es extremo de la línea. Lo que hacemos es confundir “la trayectoria con el trayecto” y, como si correspondieran una con el otro descomponemos el movimiento como si de una línea espacial se tratara. Pero olvidamos que lo que está en movimiento nunca puede coincidir con algo que está en reposo.<sup>462</sup> Y es mediante el lenguaje que efectuamos esta transposición de forma espontánea.

La simultaneidad en el instante y la simultaneidad de flujos se complementan, aunque no son lo mismo. La simultaneidad de flujos nos permite identificar la continuidad de nuestra vida interior con la continuidad de un movimiento cualquiera en el espacio por lo que podemos concebir, no únicamente la duración propia de cada uno de nosotros sino el tiempo en general. Pero la simultaneidad en el instante es necesaria para percibir la coincidencia de un fenómeno con los momentos de un reloj. Esta simultaneidad entre dos instantes de dos movimientos exteriores a nosotros, y de éstos con los momentos de nuestra propia duración permite que sea posible la medición del tiempo:

Se ha visto más arriba cómo la duración interior se exterioriza en tiempo espacializado y cómo éste, espacio más bien que tiempo, es mensurable. Es a partir de ahora por su intermedio que mediremos todo intervalo de tiempo. Como lo habremos dividido en partes correspondientes a espacios iguales y que son iguales por definición, tendremos en cada punto de división una extremidad de intervalo, un instante, y tomaremos por unidad de tiempo al intervalo mismo. Podremos considerar, entonces, cualquier movimiento realizándose al lado de este movimiento modelo, cualquier cambio: a lo largo de todo este desarrollo marcaremos “simultaneidades en el instante”. Tantas unidades de tiempo contaremos en la duración del fenómeno como simultaneidades habremos comprobado. Medir el tiempo consiste pues, en numerar simultaneidades.<sup>463</sup>

Pero –señala Bergson- la simultaneidad de flujos y la simultaneidad del instante no son la simultaneidad que maneja la teoría de la relatividad, que consiste en la simultaneidad entre indicaciones dadas por dos relojes alejados uno del otro. Relojes que previamente hay que sincronizar y, para ello, es necesario remitirse a una simultaneidad de carácter absoluto.

---

<sup>462</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad. op. cit.* p 94.

<sup>463</sup> BERGSON, H. *op. cit.* p. 98.

Bergson denuncia que el tiempo espacializado es en realidad una cuarta dimensión del espacio y es ésta la dimensión que permite yuxtaponer lo que es dado en sucesión. Esta operación, que consiste en añadir una dimensión a las  $n$  dimensiones espaciales, -sea cual fuere el valor de  $n$ - consiste también en pasar de un universo que se *desarrolla* a un universo *desarrollado*, efectuando una sustitución al atribuir al tiempo una velocidad infinita. La medición del tiempo, pues, conlleva un vaciamiento de su contenido “en un espacio de cuatro dimensiones en el que pasado, presente y futuro estarían yuxtapuestos o superpuestos desde siempre”,<sup>464</sup> lo que significa eliminar la duración del tiempo. Esta espacialización del tiempo pone de manifiesto nuestras limitaciones a la hora de tratar el tiempo matemáticamente, es decir, de medirlo. Pero no sólo en su medición espacializamos el tiempo: la duración real es experimentada precisamente de este modo, siendo espacializada.

Pero si nuestra ciencia no alcanza así sino al espacio, es fácil ver por qué la dimensión del espacio que ha venido a reemplazar al tiempo se llama todavía tiempo. Es que vuestra conciencia está allí. Ella vuelve a insuflar duración viviente al tiempo endurecido como espacio. Nuestro pensamiento interpretando el tiempo matemático, rehace en sentido inverso el camino que ella ha recorrido para obtenerlo.<sup>465</sup>

El espacio-tiempo relativista, pues, es compatible con la idea de duración pero no puede compatibilizarse con la noción de un flujo temporal ya que en él se ha sustituido la sucesión por la yuxtaposición y se abandona, con ello, el tiempo experimentado para obtener un tiempo simbólico y convencional. Su simbolización en una línea elimina la sucesión del tiempo.

Por otra parte, con la teoría de la Relatividad ya no hay movimiento absoluto ni, por consiguiente, tampoco reposo absoluto lo que comporta una relación de reciprocidad entre los sistemas de referencia: cada uno de ellos puede ser considerado inmóvil a voluntad en el momento en que sea erigido en sistema de referencia con lo que se obtendrán descripciones distintas de un mismo sistema en función de la velocidad relativa del sistema en el que se encuentra el observador. Pero precisamente “esta diferencia es la condición misma de esta identidad”, como ocurre en toda observación de un objeto desde diferentes perspectivas: precisamente es la diferencia entre todas ellas –en una relación de proporcionalidad fija- la que indica que se trata de un mismo objeto observado. Se trata de un

---

<sup>464</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad. op. cit.* p 101.

<sup>465</sup> BERGSON, H. *op. cit.* p. 102.

universo, pues, que es independiente de nuestra representación, en el cual todos los tiempos propios vividos y medidos en cada sistema son igualmente reales. Pero no son tiempos distintos sino que son todos el mismo Tiempo.

En virtud de la reciprocidad absoluta que postula la relatividad especial todos los sistemas son intercambiables. Pero el tiempo que un observador atribuye a un sistema distinto del suyo no es un tiempo vivido y medido por él sino que es el tiempo que éste atribuye a otro observador situado en el otro sistema, y este segundo observador tampoco está viviendo el tiempo que se le atribuye desde un sistema externo sino únicamente el que vive él mismo en su sistema. El tiempo así atribuido desde un sistema exterior al propio no es un tiempo vivido por nadie, afirma Bergson y, en tanto que atribuido no es un tiempo real sino virtual; ni siquiera es un tiempo que se concibe siendo vivido o pudiendo ser vivido por nadie. No es otra cosa que la expresión matemática que señala cuál de los dos sistemas se está tomando como sistema de referencia en cada momento. Sólo aquello que cumple la condición de ser percibido o perceptible puede considerarse real; en conclusión: no se debe hablar de multiplicidad de tiempos en la teoría de la relatividad sino que, estos tiempos atribuidos son virtuales y hay un único tiempo real.

La relatividad anterior a Einstein, que privilegiaba un sistema en estado de reposo absoluto, podría conducir a la postulación de tiempos múltiples y reales pues, siendo real el reposo de  $S$  y también el movimiento de  $S'$ , las duraciones o tiempos de uno y otro serían realmente experimentadas como diferentes: la de  $S'$  más lenta que la de  $S$ . Sin embargo, la relatividad radical de Einstein, que es la relatividad de la reciprocidad en la que ningún sistema se afirma como en reposo absoluto y real, implica que la duración más lenta debe ser atribuida a uno o a otro sistema en función de cuál de ellos se erige en sistema de referencia, siendo idénticos los tiempos propios de cada uno de ellos. Ambos –afirma Bergson- viven un único y mismo tiempo aunque se atribuyen recíprocamente un tiempo diferente de aquél y expresan, según las reglas de la perspectiva, que la física de un observador imaginario en movimiento debe ser la misma que la de un observador real en reposo. Por eso la relatividad especial pretende obtener una representación que sea independiente del sistema de referencia de que se trate en cada ocasión.

Ahora bien, es en general difícil al filósofo afirmar con certeza que dos personas viven el mismo ritmo de duración. No podría incluso dar a esta afirmación un sentido riguroso y preciso. Y sin embargo, lo puede en la hipótesis de la Relatividad: la

afirmación toma así un sentido muy preciso, y se vuelve cierta, cuando se comparan entre sí dos sistemas en estado de desplazamiento recíproco y uniforme; los observadores son intercambiables. Esto no es, además, completamente preciso y completamente cierto, sino en la hipótesis de la Relatividad. En cualquier otra parte, dos sistemas, por semejantes que sean, diferirán habitualmente por algún lado, puesto que no ocuparán el mismo lugar frente al sistema privilegiado. Pero la supresión del sistema privilegiado es la esencia misma de la teoría de la Relatividad. Luego, esta teoría, bien lejos de excluir la hipótesis de un Tiempo único, la llama y le da una inteligibilidad superior.<sup>466</sup>

En lo que respecta a la cuestión de la dislocación de las simultaneidades, Bergson afirma que Einstein admite necesariamente la simultaneidad intuitiva, -que es la real o vivida- puesto que le es imprescindible como premisa en su definición de simultaneidad:

Se pueden dar de la simultaneidad las definiciones más científicas, decir que es una identidad entre las indicaciones de relojes regulados los unos sobre los otros por un intercambio de señales ópticas, concluir así que la simultaneidad es relativa al procedimiento de regulación. No es menos verdadero que, si se comparan unos relojes, es para determinar la hora de unos acontecimientos: ahora bien, la simultaneidad de un acontecimiento con la indicación del reloj que da su hora no depende de ninguna regulación de acontecimientos sobre los relojes; es absoluta.<sup>467</sup>

Por mucho que, en efecto, reconozcamos que esta simultaneidad intuitiva es imprecisa, en última instancia toda medición temporal se apoya en intuiciones de simultaneidad y de sucesión. El simple hecho de conocer qué hora es en un momento dado consiste precisamente en señalar la simultaneidad entre dos acontecimientos: el de nuestro flujo interior y el del movimiento de las manecillas del reloj. Por lo tanto si afirmamos la teoría relativista debemos admitir la simultaneidad intuitiva. Incluso en la sincronización de dos relojes por señales ópticas que describe Einstein se utiliza esta simultaneidad intuitiva en varias ocasiones: al anotar el momento de emisión, el de llegada y el de regreso de la señal óptica, es decir, cada vez que hay que señalar un momento. Por lo tanto, para Bergson, si la simultaneidad científica se llama simultaneidad es debido a que emula a la simultaneidad intuitiva, que es la simultaneidad más primaria y fundamental. Toda simultaneidad a distancia reposa, pues, sobre la simultaneidad local, *in situ*, aunque no es posible establecer una distinción radical entre ambas situaciones pues

---

<sup>466</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad. op. cit.* p. 165.

<sup>467</sup> BERGSON, H. *op. cit.* p. 129.

siempre podríamos, por pequeña que fuera la distancia entre el reloj y el acontecimiento, encontrar una distancia menor.

En cuanto a la dislocación de la simultaneidad en sucesión, ésta únicamente depende de la velocidad relativa del sistema y aquí es necesario distinguir dos clases de simultaneidad y dos clases de sucesión: por un lado, la simultaneidad y la sucesión que pertenecen a los acontecimientos y provienen de ellos formando parte de su materialidad y, por otro, simultaneidad y sucesión aplicada o referida a los mismos acontecimientos por un observador exterior al sistema. La primera expresa algo del sistema mismo y es absoluta mientras que la segunda es relativa y ficticia y varía en función de la diferencia entre la velocidad de un sistema y otro. Sólo la primera clase es real porque es la única que pertenece a las cosas. Además, la dislocación de la simultaneidad en sucesión es, precisamente, lo que se requiere para que las leyes físicas -en particular las del electromagnetismo- sean las mismas en cualquier sistema de referencia.

Cuando con el pensamiento inmovilizamos un sistema para situarnos en él y, por tanto, lo consideramos sistema referente, al pasar de la movilidad al reposo y viceversa se ha producido un desdoblamiento del significado del término *simultaneidad*. Los teóricos de la teoría de la relatividad –dice Bergson- han realizado una *transfusión de realidad* de la simultaneidad natural e intuitiva a la simultaneidad científica. Mientras que en el contexto de la *relatividad unilateral* hay un tiempo absoluto que coincide con el tiempo del sistema privilegiado que está en reposo, en la teoría de Einstein o *relatividad bilateral* todo es recíproco y no hay sistema privilegiado por lo que la simultaneidad de cualquier sistema es observada como sucesión desde otro sistema. En este sentido, Bergson considera que el error de los teóricos de la relatividad especial radica en que, habiendo aceptado la hipótesis de la reciprocidad, se vuelve a la hipótesis de la relatividad unilateral, olvidando que ahora simultaneidad y sucesión se han vuelto convencionales.

La visión que desde nuestro sistema de referencia considerado en reposo nos damos de otro sistema en movimiento relativo no es otra cosa que una visión desde una posición más o menos oblicua en el tiempo en función de la velocidad relativa entre ambos sistemas. Y el ser un efecto de perspectiva no sólo afecta a la dislocación de la simultaneidad en sucesión sino que también se extiende a la contracción longitudinal y a la dilatación temporal: todos ellos son sólo cuestiones de percepción. En lo que se refiere a la dilatación del tiempo, sin el *tiempo real*, que

es el tiempo común a todos los *tiempos matemáticos* no se podría hablar de contemporaneidad entre estos últimos, es decir, que ocupan todos ellos el mismo intervalo de tiempo. Y este intervalo temporal es, precisamente, la duración psicológica, la del observador, que es idéntica, sea cual sea el sistema de referencia que éste considere, pudiendo así considerar como equivalentes a todos los tiempos convencionales por él atribuidos a los demás sistemas. Desigualdades que equivalen precisamente porque han salido de la igualdad primitiva que es la verdadera. Todas esas dislocaciones y sucesiones virtuales, todas esas variedades de dislocación son matemáticamente sustituibles porque están en el interior de la simultaneidad realmente apercibida: la simultaneidad de naturaleza psicológica.

Debido al hecho de que la teoría de la relatividad especial ha reducido el tiempo a una *línea de luz*, el tiempo se ha vinculado estrecha y directamente con el espacio. Así, al utilizar como reloj el rayo de luz -que es un movimiento, pues es su propagación- y, puesto que es propio de la física el identificar la cosa con su medida, la línea de luz será a la vez la medida del tiempo y el tiempo mismo. Y, como la línea de luz se alarga cuando se imagina en movimiento y observada desde otro sistema en reposo, tendremos entonces múltiples *tiempos* equivalentes -que Bergson denomina *matemáticos*- que serán considerados tiempos físicos pero no serán sino tiempos *concebidos*, a excepción de uno solo que será realmente *percibido*, que -repetimos- es siempre el mismo: el tiempo psicológico, que es real por definición y es el tiempo del sentido común.

En tanto que es una teoría física, la teoría de la relatividad elige ignorar la duración psicológica y sustituye este tiempo por un tiempo que es a la vez línea de luz y duración, llamando simultaneidad y sucesión a los casos de igualdad y desigualdad entre líneas de luz cuya relación entre sí cambia según la velocidad relativa del sistema. Pero en esta elección se confunde la cosa real -que es lo percibido-con su expresión -que es lo que el pensamiento pone en el lugar de la cosa para poder someterla a medida y cálculo-. La esencia de la teoría de la relatividad consiste en colocar una y otra en un mismo rango ontológico. Y esto es debido a que verdaderamente no hay ningún modo de expresar matemáticamente esta diferencia. El físico y el matemático no buscan interpretar el espacio-tiempo en términos de realidad sino simplemente utilizarlo, pero la paradoja aparece cuando se atribuye al continuo espacio-tiempo de la relatividad un sentido metafísico.

Toda espacialización del tiempo sugiere considerar a éste como una cuarta dimensión del espacio -lo que ocurre tanto en la ciencia como en el lenguaje- y ello se debe a la invasión recíproca que se da entre el tiempo y el espacio y que se refleja en las ecuaciones de Lorentz, que vinculan de forma necesaria y explícita al espacio y al tiempo. En este sentido, el espacio-tiempo relativista podría decirse que viene a sumarse a la tradición más general, de espacialización del tiempo que el lenguaje y la ciencia han encabezado desde siempre.

Cuando a un universo de dos dimensiones espaciales se le incorpora su tiempo como una tercera dimensión, esta dimensión temporal suplementaria juega un rol especial. Como apuntaba Bergson, el tiempo del matemático es un tiempo que se mide y, por lo tanto, un tiempo espacializado, debido a lo cual puede ser tratado como una dimensión adicional del espacio. En general, "lo que es dado como movimiento en un espacio de un número cualquiera de dimensiones puede ser representado como forma en un espacio que tiene una dimensión de más."<sup>468</sup> Y esta representación no es la más adecuada a lo representado ya que aquí el devenir ha sido aquí eliminado: se está considerando lo *desarrollado* en lugar del *desarrollo*, lo que deviene por lo devenido. Y si hemos podido hacer esto es, precisamente, por el hecho de que conservamos en nosotros el devenir, que es la duración real. En este sentido, la curva de  $n+1$  dimensiones completamente trazada -que sería el equivalente a la curva de  $n$  dimensiones trazándose- representa menos de lo que pretende representar, aunque, en un sentido distinto representa más pues, al agregar una dimensión al espacio y haber sustituido con ello lo que se ha percibido haciéndose por lo ya acabado, se elimina, además del devenir inherente al tiempo, el proceso concreto por el que se ha generado, lo que incorpora la posibilidad de atribuir una infinidad de procesos candidatos a ser considerados generadores. Es una consecuencia de la simbolización del tiempo: por un lado se toma "el desarrollo de toda la historia pasada, presente y futura del universo por un simple recorrido de nuestra conciencia a lo largo de esta historia dada de una vez en la eternidad: los acontecimientos los no desfilarían más ante nosotros, seríamos nosotros los que pasaríamos ante su alineamiento",<sup>469</sup> y por otra parte aparece también la posibilidad de elegir entre una infinidad de posibles constituciones espacio-temporales, aunque sólo una de ellas sea la real.

---

<sup>468</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad*. op. cit. p. 196.

<sup>469</sup> BERGSON, H. op. cit. p. 199.

Si nos atenemos a los datos de la experiencia en lugar de atender al simbolismo de la ciencia aperecibimos la sucesión ya que los datos no pueden ser dados globalmente y, de este modo, se presenta el tiempo como sucesión y duración, atributos del tiempo irreductibles a cualquier otro y distintos de la yuxtaposición propia de la simbolización espacial. Por otra parte, señala Bergson, si la realidad estuviera dada globalmente todo estaría predeterminado, pero no es así ya que la realidad está en constante cambio, está en una *evolución* que es *creadora* de novedad, por eso hay en ella tanto sucesión como duración y, también por eso, la realidad es impredecible. Sin embargo, si en lugar de atender a los datos de la experiencia nos atenemos al simbolismo de la ciencia, cuyo objeto es hacer predicciones, podemos añadir una dimensión a las que configuran el universo espacialmente, lo que nos permitirá recorrerlo en el tiempo al yuxtaponer todas las configuraciones pasadas, presentes y futuras del universo. Una cuarta dimensión, la temporal, que es sólo concebible matemáticamente pero no corresponde con la realidad.

Yo que estoy inserto en el mundo organizado por mi cuerpo, en el mundo consciente por el espíritu, percibo la marcha hacia delante como un enriquecimiento gradual, como una continuidad de invención y de creación. El tiempo es para mí lo que hay de más real y de más necesario; es la condición fundamental de la acción; -¿qué digo? Es la acción misma; y la obligación en la que estoy de vivirlo, la imposibilidad de jamás franquear el intervalo de tiempo por venir, bastarían para demostrarme -si no tuviese su impresión inmediata- que el porvenir es realmente abierto, imprevisible, indeterminado.<sup>470</sup>

Pero, así como el entendimiento humano, en su búsqueda de regularidades, de leyes que rigen el cambio, en su persecución de lo permanente en lo cambiante, “se sitúa fuera del tiempo que fluye y que dura”,<sup>471</sup> el pensamiento –del cual el entendimiento no es sino una de sus facultades- tiene en cuenta la experiencia integral que es de naturaleza temporal. Todo ello ha ocurrido en virtud de la espacialización del tiempo que ha ido teniendo lugar a lo largo de la historia del pensamiento con anterioridad a la teoría de la relatividad.

Y en el espacio-tiempo de la relatividad el tiempo, en tanto que cuarta dimensión, adquiere unas características añadidas a la anterior espacialización: aquí se afirma una pluralidad de tiempos que Bergson rechaza: para él sólo hay un tiempo real –el

---

<sup>470</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad. op. cit.* p. 204.

<sup>471</sup> BERGSON, H. *op. cit.* p. 205.



que experimenta el observador- mientras que los demás tiempos, los atribuidos a hipotéticos observadores colocados en diversos sistemas de referencia, son tan virtuales y ficticios como dichos observadores.

Del mismo modo que la ciencia no tiene ningún modo de distinguir entre el tiempo que se desarrolla y el tiempo desarrollado y lo espacializa al medirlo, desde el momento en que espacializamos el tiempo, incluso al hablar de él, estamos ya esbozando un espacio-tiempo tetradimensional. Pero, así como en este espacio-tiempo el tiempo y el espacio permanecen diferenciados, en cambio, en el espacio-tiempo relativista se imbrican el uno en el otro tratándose, entonces, según Bergson, de un espacio-tiempo virtual, pensado, atribuido a un observador imaginado y no el que se experimenta en realidad. Éste, el que se experimenta realmente, está en reposo y aquí, por lo tanto, el tiempo y el espacio no se entremezclan. La mezcla entre ambos se debe al movimiento del sistema. Sentencia, pues, Bergson: un espacio que absorbe al tiempo y un tiempo que absorbe al espacio no son un espacio y un tiempo actualizados y realizados. Sin embargo esta nueva concepción del espacio y del tiempo modificará la propia percepción de ambos.

A través del Tiempo y del Espacio que siempre hemos conocido distintos, y por lo mismo amorfos, aperebiremos, como por transparencia, un organismo de Espacio-Tiempo articulado. La notación matemática de estas articulaciones, efectuada sobre lo virtual y puesta en su más alto grado de generalidad, nos dará sobre lo real una presa inesperada. Tendremos entre las manos un medio de investigación poderoso, un principio de búsqueda al cual, se puede predecirlo desde hoy, el espíritu humano no renunciará, aunque la experiencia imponga una nueva forma a la teoría de la Relatividad.<sup>472</sup>

Es, pues, al volverse ficticios, al considerar al tiempo una dimensión espacial más, cuando el tiempo y espacio se mezclan, se invaden el uno al otro dando lugar a una amalgama espaciotemporal. Y es así como debe proceder la ciencia, tomando por real lo que en este caso es ficticio. Sin embargo la filosofía debe distinguir *lo real de su símbolo*. Así, cuando dos acontecimientos simultáneos en el interior de un sistema se muestran sucesivos a un observador externo que se representa dicho sistema en movimiento, el intervalo entre los acontecimientos que se han vuelto sucesivos, aunque se sigue llamando tiempo, en realidad no podría contener de ninguna manera acontecimiento alguno; es *una nada dilatada*. Por lo tanto y, puesto

---

<sup>472</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad*. op. cit. p. 211.

que esta amalgama de espacio y de tiempo aparece sólo cuando el pensamiento postula el movimiento, el espacio-tiempo sólo existe ahí, en el pensamiento y lo único que es real –es decir, observado u observable, susceptible de percepción- es el Espacio y el Tiempo distintos entre sí y separados el uno del otro.

Para Bergson, lo que la teoría de la relatividad aporta a la física es una descripción de cómo la transmisión de la luz se comporta frente a la traslación de los cuerpos, pero no aporta nada nuevo en relación al Espacio y el Tiempo, que permanecen como eran, distintos entre sí. El único modo de mezclarlos es mediante la ficción matemática destinada a la simbolización de la realidad física. El espacio y el tiempo que se *interpenetran* no son reales sino que son el espacio y el tiempo de un observador imaginado; sólo se interpenetran en los sistemas en movimiento en los que el físico real no está y tampoco se imaginan como reales, pues hacerlo así – atribuirles una supuesta conciencia, por ejemplo- sería convertir su sistema en el sistema de referencia inmovilizado.

La pluralidad de tiempos de la teoría de la relatividad especial no sólo escapa *de facto* a la observación del físico sino también *de iuris*. Son tiempos, todos menos uno, virtuales, en los que *no se está*. Sólo en uno de esos tiempos hay sucesión y duración. Aquél es a la vez un tiempo y una línea de luz mientras que los otros sólo son líneas de luz que nacen del alargamiento de la primera de ellas. “De allí todos los Tiempos, en número indefinido, de la Relatividad restringida. Su pluralidad, lejos de excluir la unidad del Tiempo real, la presupone”.<sup>473</sup> Y la tendencia incorrecta de atribuir la misma realidad a todos estos tiempos es la causa de que la teoría de la relatividad especial parezca compatible con situaciones contrarias al sentido común.

---

<sup>473</sup> BERGSON, H. *Duración y simultaneidad. op. cit.* p. 222.

## CONCLUSIONES: LOS ELEMENTOS DEL CONCEPTO DE TIEMPO ARISTOTÉLICO EN LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

A modo de recapitulación del recorrido realizado en este estudio en torno al concepto de tiempo, podemos decir que el concepto aristotélico de tiempo es una noción estrechamente ligada a la *physis* pues se trata de un tiempo que, siendo *número del movimiento según lo anterior y posterior*, es algo que pertenece a las cosas concretas, que son sujeto de movimiento, por un lado y, por otro, pertenece al dominio del alma humana, al sujeto que numera. De tal manera que el tiempo por sí mismo no es nada, no es substancia sino accidente, no tiene entidad substancial. Más aún: por ser el movimiento, a su vez, accidente, el tiempo es accidente de accidente.

Y de ahí –del movimiento de las cosas concretas y de éstas mismas- es de donde obtiene el tiempo aristotélico uno de sus rasgos fundamentales: la continuidad. Continuidad que en el tiempo se revela en el instante sin duración; instante que, en tanto que límite inextenso no es tiempo, pero sí lo constituye. El tiempo, en virtud de su continuidad, es infinitamente divisible en partes que son siempre intervalos de tiempo; por otra parte, en tanto que número, el tiempo es producto del sujeto numerante; sin el alma numerante no habría tiempo, como tampoco lo habría sin la existencia de lo numerable: el sujeto de movimiento, aquello que cambia. El tiempo aristotélico presenta, pues, una doble raíz y es de naturaleza doblemente subsidiaria.

En el capítulo dedicado al concepto de tiempo newtoniano nos ha servido de contrapunto la polémica Leibniz-Clarke, gracias a la cual hemos podido resaltar los aspectos más destacables del tiempo absoluto en contraposición con el tiempo relacional propuesto por Leibniz. La ciencia moderna impone un concepto de tiempo de marcado carácter abstracto. Se trata de un tiempo ajeno al mundo que, desvinculado del movimiento, no pertenece a la naturaleza de las cosas y tampoco tiene relación con el ser humano. El tiempo absoluto es el continente abstracto de los acontecimientos -como el espacio absoluto es el recipiente en el que están las cosas- y pierde su condición de accidente adquiriendo una existencia substancial que es más metafísica que física: tiempo y espacio son ahora *sensorium Dei*, la manifestación de la presencia de Dios en el Universo.

Nos hemos detenido, en tercer lugar, en la propuesta kantiana, cuya crítica devuelve al tiempo su carácter subsidiario; si bien el tiempo ya no se puede afirmar de las cosas -que pertenecen al dominio del *noúmeno*- sí se atribuye al sujeto: el tiempo como condición de posibilidad del *fenómeno* es, como el espacio, la forma a priori de la sensibilidad que permite su constitución. El tiempo ya no existe como una realidad objetiva –como postulaba el paradigma newtoniano para el que carecía de cualquier rasgo subjetivo-.

En la segunda parte de este estudio hemos dedicado nuestra atención a intentar comprender la teoría de la relatividad especial y general. Hemos visto que en ambas, aunque de modos distintos, el tiempo recupera la dependencia del movimiento que tenía con Aristóteles. La negación de la simultaneidad universal en el contexto de la relatividad especial, como consecuencia de la dislocación de la simultaneidad en sucesión, en función de la variación de la velocidad relativa entre sistemas, vincula el tiempo –esta nueva concepción de tiempo- directamente con el observador y con las condiciones en las que éste se encuentra con respecto a los acontecimientos observados; de modo que el tiempo, en este sentido, regresa también al sujeto.

De la mano de la relatividad general el tiempo retorna al mundo, a la naturaleza, para formar parte de su característico modo de ser dinámico. Pero, además, en virtud de lo convencional de su definición –definición que es operacional-, también se vincula al movimiento a través de su dependencia de la velocidad de la luz, recuperando, en tanto que medida de dicho movimiento, su dependencia del sujeto. El tiempo pierde, con todo ello, la substancialidad que tenía en la ciencia moderna y ahora radica en el mundo en virtud de su dinamismo: es el tiempo de las cosas. No es nada por sí mismo pero se desprende del carácter dinámico del universo.

El estudio realizado nos permite afirmar la presencia de una serie de rasgos característicos del concepto de tiempo aristotélico en la noción de tiempo que subyace al concepto de espacio-tiempo de la teoría de la relatividad. Y esto lo podemos observar en diversos aspectos que, a continuación, pasamos a señalar.

### 1. Superación e integración de diversas dicotomías.

La teoría de la relatividad permite una variedad de interpretaciones que la inscriben en el debate como el que enfrenta al materialismo y el idealismo; su irrupción en el panorama científico vendrá a avivar, también, la discusión mantenida, tanto en la arena de las ideas como en la de la ciencia y el arte, entre intuicionismo y racionalismo, -como hemos visto en la propuesta de Eugeni D'Ors que hemos expuesto en el epígrafe 5 del capítulo 5 titulado *El espacio-tiempo y la discontinuidad* o, también, en la crítica realizada por Bergson que presentamos en el capítulo 6 titulado *La crítica de Bergson al concepto de tiempo de la relatividad*-. Pero la teoría de la relatividad en realidad tiene la capacidad de integrar las dos maneras de interpretar y entender la realidad. Y este aspecto integrador lo tiene, del mismo modo, el concepto de tiempo aristotélico, que aglutina y sintetiza ambas posturas al involucrar en su definición tanto al sujeto -numerante- como al objeto -móvil numerable. El tiempo no es nada sin el sujeto que lo predica, que lo distingue, pero tampoco lo es sin el *esto* que es el móvil, sujeto del movimiento y objeto de la percepción que permite que pueda darse el reconocimiento y la predicación del *número del movimiento según lo anterior y lo posterior*. Aristóteles pone de manifiesto, precisamente, esta doble faz del concepto de tiempo, como hemos visto a lo largo del primer capítulo, dedicado al concepto de tiempo aristotélico.

La teoría de la relatividad eleva la geometría de un mero producto de la razón a la categoría más alta en virtud de la capacidad descriptiva de la realidad física que ahora adquiere. Pero esta *fisicalización* de la geometría no va en detrimento del otro polo de la dicotomía: postular propiedades geométricas de la realidad física no implica la negación de fundamento de la objetividad de dicha realidad física ni sitúa su fundamento en la mente del sujeto-geómetra. Simplemente, y en esto seguimos la estela abierta por Galileo, significa la afirmación de que la mejor manera de describir las propiedades de la realidad física es el lenguaje geométrico. Pero no vale cualquier geometría a este fin. La geometría queda *fisicalizada* en la teoría de la relatividad general por medio de la integración de la materia con el espacio-tiempo -conforme a lo expuesto en los epígrafes 3 y 4 del capítulo 5 titulados *La síntesis entre materia y energía* y *El espacio-tiempo de Minkowski*, respectivamente-. Es, por tanto, en lo que se mueve -esta realidad dinámica- donde reside el estatuto ontológico del entramado espacio-tiempo relativista.

## 2. La intervención del sujeto en el concepto de tiempo.

En el concepto de tiempo relativista encontramos, además, la participación del sujeto en dos sentidos distintos: en tanto que se trata de una *medida*, por un lado y, por otro, en tanto que el resultado de esa medida depende directamente de la velocidad relativa del sistema de referencia en el que se encuentra el observador; el concepto de tiempo relativista es, por tanto, relativo al sujeto. De un modo similar, el concepto de tiempo aristotélico dependía también del alma numerante.

En la teoría de la relatividad, como en la teoría del tiempo aristotélica, el tiempo no es posible sin las cosas; y la descripción de las cosas por parte del sujeto hace emerger el tiempo como concepto subsidiario, en ambos casos, de aquello que se mueve, primero, y de aquello que lo percibe, distingue y predica, después. El sujeto, pues, interviene en el concepto de tiempo relativista como lo hace en el aristotélico. Pero no se trata en ninguno de los dos de una interpretación subjetivista del conocimiento. Como tampoco lo es la interpretación kantiana, puesto que el conocimiento, si bien es un hecho *del sujeto*, no es un hecho *subjetivo*, en tanto que no se afirma que sea un conocimiento relativo al sujeto en particular, sino al sujeto *trascendental*; trascendiendo toda particularidad subjetiva para, así, superar el relativismo gnoseológico como corresponde a toda filosofía trascendental.

En el conocimiento el sujeto no se limita a reproducir o representarse la realidad sino que aporta un elemento constitutivo en dicha representación. Es un idealismo estrictamente gnoseológico que no hace afirmaciones en torno a la estructura y naturaleza ontológica de la realidad. El idealismo trascendental kantiano pone de relieve aquello que el sujeto *incorpora* en el conocimiento por lo que es compatible con el realismo empírico al que, incluso, vendría a justificar. No problematiza la existencia de la realidad objetiva sino su conocimiento.

Utilizando términos heideggerianos, podemos decir que en la teoría de la relatividad especial la *apariencia* es una propiedad objetiva de la realidad; es su manera de mostrarse ante el sujeto de conocimiento, y este aparecerse se caracteriza, precisamente, por la perspectiva espacio-temporal, esto es, por la propiedad de depender del punto de vista del sujeto –ver el subepígrafe 4.1.5 del capítulo 4, titulado *La transformación de Lorentz*-. Así, la teoría de la relatividad le devuelve al tiempo la segunda raíz en la que se sostenía con Aristóteles: la propia realidad objetiva de las cosas concretas –el *esto* aristotélico-.

Por lo tanto, si con Kant el tiempo recupera aquel aspecto subjetivo que tenía en Aristóteles, ahora la relatividad le devolverá también su vínculo con las cosas, aspectos, ambos, de los que el paradigma newtoniano le había desprovisto. Y en este camino de recuperación ha tenido que desprenderse de la substancialidad que, a cambio, la física clásica le atribuía; otro tanto, por supuesto, le ha ocurrido al concepto de espacio. El concepto de movimiento ha sido clave en esta transformación.

En definitiva, la naturaleza del tiempo –tanto en Aristóteles como en la teoría de la relatividad- tiene dos aspectos: el físico y el psicológico; radica en las cosas y, a la vez, es un ente de razón pero no es nada por sí. En lo que respecta a su métrica, que es su aspecto cuantitativo, el tiempo es duración y radica en la magnitud; en lo referente al orden, que es su aspecto cualitativo, el tiempo es sucesión y, por tanto, es una relación –como defendiera Leibniz-. En ambos casos, es un predicado de las cosas y, en tanto que predicado, producto del sujeto que predica –el orden, la relación y/o la medida-.

### 3. *Del plenum aristotélico al continuum de la relatividad.*

El movimiento para Aristóteles es lo que define a la naturaleza, la *physis*; es aquello que la caracteriza. Y no es nada por sí mismo sino que es algo de las cosas, de los entes móviles. Así, el cambio es impulsado por la propia materia. No le viene del exterior. El movimiento no es algo que inhiere en el móvil sino que acontece a la cosa; mejor dicho, es la cosa que acontece. La materia aristotélica tiene esa disposición para el cambio que es su potencialidad. En Aristóteles desaparece la oposición radical entre el ser y el no-ser, adquiriendo este último el carácter de *privación*, que permite explicar el cambio en estos términos: en clave de privación, una dialéctica de contrarios que, ahora sí, pasan del no-ser al ser y del ser al no-ser –ver el epígrafe del capítulo 1 titulado *Cambio y movimiento*-. Este principio de privación reside en la propia entidad móvil, en el *tode ti*, el *esto* concreto, en tanto que substrato del cambio. Y por eso el continuo es fundamental en la teoría aristotélica del tiempo, del espacio y del movimiento.

Aristóteles entiende el movimiento como proceso y, en este sentido, el concepto de campo de la física contemporánea ha venido a difuminar la frontera que separaba lo lleno de lo vacío en la física clásica. Diríase que el *plenum* ha ocupado el lugar del vacío. En la escala macroscópica los campos de fuerza pertenecen a los cuerpos,

constituyen y difuminan su contorno hasta hacerlo desaparecer en un *continuum* – ver el subepígrafe 4.1.2 titulado *La aparición del concepto de campo*-. Pero este *continuum*, lejos de ser homogéneo, en virtud de su dinamismo, de su interacción, de su permanente transformación, presenta una heterogeneidad que, si bien no es radicalmente cualitativa en última instancia –ya que la cantidad es un elemento determinante en su estructura-, sí lo es en primera instancia: de este modo la gravitación relativista ostenta ambos caracteres, el cuantitativo y el cualitativo, en su propia naturaleza.

Frente al espacio newtoniano, que es vacío, el aristotélico y el relativista son, pues, un *plenum*. En Aristóteles el espacio no existe como tal. Tampoco existe el vacío; no tiene lugar ni dentro ni fuera del cosmos aristotélico ya que no es posible que exista una extensión sin cuerpo. Existe el cosmos y éste no tiene huecos, es continuo como lo es el *continuum* espacio-tiempo de la relatividad; espacio-tiempo que es asimilable a la materia y ésta, a su vez, asimilable a la energía –ver el epígrafe 5.3 titulado *La síntesis entre materia y energía*-. Ahora, continente y contenido son, pues, dos aspectos distintos de una misma cosa. De hecho, estos términos, esta dicotomía, ya no parece adecuada para describir ni a la materia ni al espacio, ni a la relación que pueda haber entre ambos.

El lugar aristotélico no es otra cosa que el límite envolvente de un cuerpo. Como el tiempo, pertenece al cuerpo, no a un hipotético espacio vacío. Aristóteles niega la existencia del vacío pues no existe una extensión sin cuerpo que no delimite nada, toda dimensión es siempre corpórea. Tras el giro de 180° efectuado en este aspecto por el paradigma newtoniano, la teoría de la relatividad general niega el concepto de un espacio-tiempo separado del campo gravitatorio. Sus ecuaciones vinculan la distancia métrica a la densidad de masa presente en un intervalo, lo que la hace depender directamente de las propiedades dinámicas locales. La métrica, pues, depende de la materia y ésta no es nula en ningún lugar debido a la noción de *campo* como modo de ser de la materia-energía. Con el concepto de campo se desmorona la idea clásica de partícula y, con ella se pierde la distinción entre vacío y lleno, lo cual sería del agrado del Estagirita –ver el epígrafe 1.4 titulado *Continuidad e infinito*-.



#### 4. La raíz física del concepto de tiempo aristotélico y del concepto de espacio-tiempo de la relatividad.

El tiempo newtoniano es la recta infinita euclidiana, desprovista de todo vínculo con lo físico –epígrafe 2.1, *El concepto newtoniano de tiempo*-. Por el contrario, los conceptos de tiempo de Aristóteles y de la relatividad están radicados en lo físico y de ello obtienen sus propiedades: en un caso sin principio ni fin pues el cosmos aristotélico es eterno, en el otro con principio y, en cuanto al fin, es un interrogante que dependerá de cuál sea la tasa de materia y antimateria que contiene el universo. Cualquiera de las soluciones que se conciben como compatibles con la teoría del *Big Bang* -un universo abierto, cerrado o crítico- compartirá sus características con el tiempo, que no es otra cosa que su propio carácter dinámico – ver subepígrafe 5.6.2 titulado *Relatividad general y cosmología*-.

Aristóteles atribuye la continuidad al tiempo en base a la continuidad del ente móvil y en base a la continuidad del movimiento pero también, como hemos visto, en ocasiones se apoya en la continuidad del tiempo para afirmar y mostrar la continuidad del movimiento y de la extensión. En definitiva, lo que hace Aristóteles es, una vez más, señalar la importancia del estrecho vínculo que hay entre las cosas concretas, el movimiento, el espacio y el tiempo. De hecho, de todos ellos, sólo hay una entidad o substancia para Aristóteles: el ente concreto del cual los otros no son más que atributos –ver 1.8 *Substancia aristotélica*-. Por lo tanto, el espacio y el tiempo, lejos de ser algo por sí solos, pertenecen a las cosas, que son lo que se mueve, lo que cambia o se transforma. Del mismo modo, tampoco es nada por sí solo el entramado espacio-temporal de la relatividad. Éste se funde con los cuerpos-masa-energía, cuyo movimiento es también su movimiento.

Es claro que las características euclídeas de la geometría newtoniana no permitirían nunca esta integración. Era necesario *pensar* otra geometría para conseguir dicha síntesis. Una geometría *fiscalizada* que hace compatibles la observación y la razón. El espacio homogéneo y estático de la geometría euclidiana entra frontalmente en conflicto con la materia, con las cosas y su comportamiento y no puede mezclarse con ellos. Y en este conflicto la teoría de la relatividad se acerca a la aristotélica al curvar el espacio-tiempo, curvatura que es, precisamente, la expresión de la presencia de materia en el cosmos.

Es cierto que la curvatura del cosmos aristotélico es una curvatura de una naturaleza distinta a la de la curvatura relativista. Sin embargo no podemos evitar aquí subrayar la estrecha, la íntima relación que en ambas cosmologías se da entre la materia y la topología del cosmos, entre contenido y continente –salvando las distancias del sentido newtoniano que tienen estos términos–, entre el cosmos y aquello de lo que está hecho. Si bien es cierto que en Aristóteles se da una heterogeneidad de raíz cualitativa mientras que en el cosmos relativista es, en última instancia, una cuestión cuantitativa la que subyace a dicha heterogeneidad cualitativa. Las esferas del universo aristotélico se mueven y con ellas se mueven los objetos celestes; el universo se mueve como un todo con un movimiento de rotación sobre sí mismo. Así, al cosmos aristotélico el movimiento le pertenece aunque su origen está en el primer motor inmóvil que, puesto que es eterno, infunde en el universo el movimiento circular sin principio ni fin. Se trata de un mundo finito con un movimiento infinito, es decir, eterno, y, por lo tanto, de un mundo eterno. Pero aquí, el mundo no está *en* el tiempo, no está *dentro* del tiempo sino que el tiempo es algo del mundo y, sólo mientras haya mundo, habrá tiempo. Lo mismo ocurre con el tiempo relativista: si bien este cosmos no se postula como eterno sino que tiene, por lo menos un origen –el *Big Bang*– el tiempo le es consustancial pues pertenece a su modo de ser en movimiento. Ambos, pues, universos eminentemente dinámicos frente al universo estático del paradigma newtoniano.

En este nuevo contexto la geometría –y con ella la abstracción– deviene una mera herramienta, un instrumento para explicar la realidad que ha de adaptarse a los hechos observables y no al contrario. Es cierto que la geometría euclidiana es más afín a la razón, así como a la intuición en primera instancia, en el ámbito de lo local, pero no lo es tanto cuando se trata de explicar los fenómenos y las propiedades físicas del universo a escala global. El mundo de Einstein tiene una curvatura y es finito aunque ello no implica necesariamente que sea cerrado. La teoría del *Big Bang* es compatible tanto con un universo abierto como con un universo cerrado; es la densidad de materia presente en él lo que condiciona la solución en uno u otro sentido -5.6.2 *Relatividad general y cosmología*–.

Einstein fisicaliza la geometría al incorporar en ella principios físicos como las propiedades de la trayectoria de la luz en su recorrido y, al incluir así el movimiento en la geometría produce una escisión de la geometría cartesiana: la nueva geometría se fundamenta en la física. Y esto está estrechamente relacionado con la dinamización del espacio en que ha consistido la fusión de éste con el tiempo en

una única realidad espacio-temporal. En el espacio-tiempo se da la relación de contemporaneidad frente a la relación de simultaneidad como instantaneidad en que consistía el espacio clásico. En este punto, también encontramos el rastro del tiempo aristotélico: el instante no es nada, no tiene dimensión, no es una entidad; para Aristóteles es un mero límite –ver epígrafe 1.6 titulado *El instante*-. El tiempo es duración, no se compone de instantes sino de intervalos siempre divisibles en más intervalos con duración. Tanto la definición del tiempo de Aristóteles como la de Einstein subrayan la interpretación del tiempo como duración *-aión-* frente al aspecto sucesivo del tiempo *-chronos-*, aspecto, éste último, que se presupone en ambos casos.

A diferencia de éstos, el tiempo absoluto newtoniano es infinito en el sentido matemático: tiene un infinito aritmético, abstracto. Por su parte, el infinito geométrico, que es el que tiene el espacio-tiempo de la relatividad, es un infinito más cercano al conocimiento sensible, subsidiario de las cosas de la materia; es el infinito de la línea recta frente al de la abstracta serie creciente de números -que no son sino entes de razón- en que consiste el primero. Pero el tiempo relativista – como el aristotélico- que no es algo físico, sí es algo de la física, es un concepto, pero no es un concepto matemático sino un concepto físico -1.2, *Definición aristotélica de tiempo*-.

##### 5. *El universo dinámico en Aristóteles y en la relatividad.*

Estamos ante la confrontación entre geometría y observación, entre racionalismo intelectualista e intuicionismo, entre abstracción y empiria; una dicotomía que se presenta con diversos rostros y que tanto Aristóteles como Einstein han venido a superar, integrando ambos extremos, eso sí, no sin antes rebajar sus pretensiones, las de unos y las de otros. El postulado eleático-cartesiano que afirma que bajo la diversidad aparente que nos muestran los sentidos se esconde la realidad una e inmutable se encuentra detrás de la creencia del paradigma newtoniano en que la única verdad son las leyes universales que rigen la naturaleza y el cosmos. Leyes que son inmutables y eternas y que ponen de manifiesto la regularidad, lo permanente, lo invariable del universo. La diversidad percibida es aparente.

Como le ocurre a la *physis* y al cosmos aristotélicos, también el movimiento -la transformación- es lo que caracteriza al cosmos de la física relativista

contemporánea: al dinamismo conceptual que hemos señalado se viene a sumar la constatación de un hecho: *de facto* el universo se expande; el cosmos como un todo se mueve, pero no se mueve *en* –dentro– un espacio, porque él constituye el espacio, como constituye el tiempo. Se podría decir que el cosmos es el espacio y el tiempo; el universo es espaciotemporal. Por su parte, y por la misma razón, el universo aristotélico no tiene tampoco nada fuera, ni tiene nada antes ni después. El antes y el después son del movimiento y su número es el tiempo. En cuanto al espacio o lugar aristotélico, no es sino el propio contorno de los cuerpos y, como tal pertenece al ente que, más que ubicarse en él, lo ocupa. El universo aristotélico se mueve -todo él, no sólo sus partes- con un movimiento de rotación, si bien es cierto que causado *eficientemente* por el primer motor inmóvil. Así también el cosmos contemporáneo -todo él además de sus partes- se mueve con un movimiento de expansión, como un globo que se infla en todas direcciones. Se puede señalar un centro, pues hay una dirección y sentido en este movimiento de expansión –en realidad, más que un centro geométrico, se trata de un punto en el que se concentraría justo al comienzo de la expansión- que coincidiría con el *Big Bang*, como también se puede señalar un centro en el universo esférico y cerrado de Aristóteles, que coincide con el centro del movimiento de rotación de la esfera en su totalidad.

Para Newton el peso no es una propiedad intrínseca de la materia (que sí lo era con Galileo) sino que se debe a la atracción entre masas, a la influencia de una masa en otra externa a ella, por lo que la gravedad es un efecto y no un principio intrínseco de los cuerpos móviles. Con esta separación conceptual entre la masa y el peso de un cuerpo se produce la eliminación de todo dinamismo en la materia, lo que hace necesario postular la actuación de fuerzas a distancia –como es el caso de la gravitación. Esto abrirá una brecha insalvable entre cinemática y dinámica. Para Aristóteles, sin embargo, la pesantez o la ligereza son la inclinación de la materia a dirigirse hacia su lugar natural -1.4, *Continuidad e infinito*-. Y este movimiento de los cuerpos aristotélicos está determinado cualitativamente por un espacio que es físico y que interactúa con los cuerpos, con la materia. No es un espacio causalmente ineficiente, como el espacio absoluto de Newton, de naturaleza abstracta.

Así, pues, la gravedad es un movimiento natural en Aristóteles como también lo es en la teoría de la relatividad, donde no se trata ya de una fuerza de atracción externa sino que el grave se mueve en un campo gravitatorio al recorrer de forma natural el trayecto más corto. En este escenario, en lugar de una fuerza que actúa a

distancia, la gravedad es el propio espacio-tiempo cuya forma o geometría, en cada una de sus regiones, se convierte en el *lugar natural* al que tiende todo cuerpo que se encuentre en ellas. Los movimientos correspondientes a trayectorias geodésicas son producto de la relación entre el móvil y las propiedades de un medio que, nuevamente es causalmente eficiente -5.1, *La relatividad general*-.

A diferencia de la aristotélica inclinación de los cuerpos hacia su lugar natural -que pone de manifiesto la eficacia causal entre el medio y las cosas que contiene, y señala, en función de esto mismo, los lugares naturales como regiones cualitativamente distinguibles-, el espacio absoluto de la física clásica se mantendrá al margen de todo, a modo de escenario, limitándose a permitir que las cosas estén y los acontecimientos sucedan en él -ver 2.4, *Movimiento y materia en la física clásica*-. En este aspecto, la teoría de la relatividad general transformará de nuevo este escenario en agente causalmente eficiente, que actúa sobre la materia, a la vez que en paciente causalmente afectado por la misma, pues no es más que el producto de su presencia, en mayor o menor concentración.

Mientras que la ley de la inercia de la mecánica clásica elimina de los cuerpos toda tendencia que no sea la de permanecer en su estado de movimiento o reposo y el movimiento de caída de un grave es considerado un movimiento violento, para la teoría de la relatividad general el movimiento de los cuerpos producido por la gravedad recupera su carácter natural al ser interpretado como el trayecto natural que sigue el móvil en un espacio-tiempo más o menos curvo; trayecto, éste, que es ahora una línea geodésica recorrida por los cuerpos en un espacio que tiene morfología, porque es un *espacio-tiempo*, es decir, porque es dinámico. Es el propio cosmos con su geometría lo que marca la trayectoria del movimiento del cuerpo. El movimiento provocado por la gravedad, de ser interpretado por Newton como el efecto de una fuerza externa al móvil, pasa con la teoría de la relatividad a entenderse como el movimiento natural al que tiende un cuerpo que se encuentra en la curvatura espacio-temporal debida a la presencia de otro cuerpo.

## 6. *El tiempo no es substancial.*

La redefinición de conceptos como materia, energía, movimiento, etc., como consecuencia de la fusión entre todos ellos, permite prescindir de un marco de referencia que antes, en el paradigma clásico, era necesario para ubicarlos e

inscribirlos. Así, las cosas, los entes, pierden substancialidad en lo que se refiere a propiedades que antes le eran fundamentales como la definición de sus límites, su impenetrabilidad y estabilidad. Ya no podemos hablar de corpúsculos propiamente dichos, y tampoco de espacio y de tiempo absolutos -2.5 *El mecanicismo y el concepto de tiempo*-. Se diría que todos juntos han bajado un escalafón en su estatuto ontológico: en concreto, espacio y tiempo han caído mucho más abajo desde mucho más arriba; tanto que han perdido toda substancialidad, aunque han ganado una cierta condición material, física: podría decirse que se han materializado. La materia, los cuerpos, lo móvil, el contenido material y concreto del universo, objetos que son sujetos de movimiento, ya no son el contenido del espacio y del tiempo sino constituyentes del espacio-tiempo.

El tiempo es real en virtud de su carácter sucesivo, y es gnoseológico en base a su aspecto métrico, la duración. Además, tanto en Aristóteles como en la relatividad, el estatuto ontológico del tiempo y el concepto de tiempo son, ambos, derivados debido a su carácter subsidiario del movimiento. Y, tanto en Aristóteles como en la relatividad, es la estrecha vinculación del tiempo con el movimiento y su continuidad lo que le vincula tan íntimamente al espacio –o magnitud.

Mientras que el tiempo absoluto newtoniano ostenta la categoría ontológica de substancia y el concepto de tiempo es un concepto, no derivado sino primitivo -por lo que no es posible su definición sino únicamente su descripción-, el tiempo como medición de la teoría de la relatividad es subsidiario del movimiento en virtud de su naturaleza operacional, y su concepto es derivado, también, del concepto de movimiento. Del mismo modo, el tiempo aristotélico es doblemente subsidiario y su concepto, también, es doblemente derivado: en tanto que número, es relativo al sujeto, y en tanto que lo anterior y posterior del movimiento, es relativo al movimiento.

#### *7. El tiempo como medida del cambio.*

El tiempo como medida del cambio y el cambio como rasgo definitorio, esencial, del universo-mundo: esta idea es eminentemente aristotélica y eminentemente relativista también: el tiempo empieza con el *Big Bang*, que es el primer movimiento o cambio. Si nada cambia no hay tiempo. Y el tiempo es definido como su medición, como hemos visto en Aristóteles, el número del movimiento, y en Einstein mediante

su definición estrictamente operacional –ver 4.2.3, *La naturaleza convencional del tiempo relativista*-. Y este carácter operacional del tiempo remite directamente a un agente, a un sujeto operativo: la mente del observador. El tiempo es una propiedad de los sucesos o acontecimientos que depende del observador. Es esa medición cuyo resultado es relativo al observador –en el caso de la relatividad especial- pues varía con su movimiento relativo. Cada observador obtiene su propia medida de un mismo suceso; tiene su *tiempo propio*. Pero también existe el *tiempo impropio*, que es la medida que se obtiene desde un sistema de referencia distinto al del suceso. Es más, el tiempo relativo varía con la velocidad relativa, esto es, depende del movimiento en su sentido más radical, si cabe, que el tiempo aristotélico. Se trata de una dependencia de naturaleza diversa, que se pone de manifiesto en varios niveles: por un lado depende del movimiento por el hecho de ser una medición; por otro en tanto que su definición se establece a partir de otro movimiento muy concreto: el que describe la trayectoria de la luz; en tercer lugar, depende del movimiento porque depende de la velocidad relativa del observador.

Como hemos dicho anteriormente, ahora, con la relatividad, se habla de *sucesos* en lugar de *cosas*. Así, pues, el tiempo ahora está incorporado en la propia naturaleza de los entes en tanto que éstos son procesos dinámicos -y ya no objetos estables y estáticos- en lo que se denomina su *tiempo propio*. El tiempo es la medida, en su definición operacional, de la magnitud de este suceso según el antes y el después y, puesto que es una medida, es subsidiario del sujeto que la realiza. Pero una medida es también, ella misma, un suceso en sí, una operación, un movimiento, un cambio y, por lo mismo, tiene tiempo propio. Por último, el sistema de referencia del observador se mueve a una velocidad relativa al suceso observado, movimiento del cual depende el valor de la medición realizada del suceso, su *tiempo impropio*.

La medición del tiempo, o su cantidad, como toda medición, requiere el establecimiento de una comparación con un patrón, lo que presupone la coexistencia, la simultaneidad, para su confrontación, de ambos objetos: el patrón de medida y el objeto a medir. Requiere su co-presencia, una relación de yuxtaposición entre ambos objetos o sucesos pues su proximidad ha de ser espacial. En este aspecto toda medición es convencional por un doble motivo: debido, por un lado, a la elevada dificultad que entraña encontrar un proceso en la naturaleza cuya periodicidad posea la regularidad precisa para servir de patrón en la métrica del tiempo; por otro lado, debido al hecho de que es imposible garantizar o comprobar efectivamente esta regularidad ya que no es posible yuxtaponer dos

intervalos de un proceso que, por definición son sucesivos. Es por eso que cualquier métrica del tiempo será siempre, en última instancia, convencional.

#### *8. Del movimiento como desplazamiento al movimiento como transformación.*

La teoría de la relatividad especial recupera la concepción del movimiento como proceso de la mano de la velocidad finita y constante de la luz. La teoría de la relatividad general interpreta los cuerpos como regiones del espacio-tiempo que no *están*, sino que *ocurren* en un universo dinámico en el que no cabe el reposo –como tampoco cabe el vacío-. En este orden de cosas el tiempo no es ya una sucesión de instantes pues no existe nada que se corresponda con un *instante universal*, y esto por dos razones: porque ya no existe la velocidad infinita, que es la instantaneidad, y porque todo cuerpo, toda partícula, es un proceso; el universo está en movimiento como un todo –en estado de expansión- y también todo lo que hay en él ya que todo cuerpo, toda partícula es, en última instancia, un proceso. Así, pues, todo está en movimiento. Y por eso el tiempo forma parte, no sólo de la descripción del universo sino de su definición: no es espacio sino espacio-tiempo. Del mismo modo que para Aristóteles el instante-ahora no tiene entidad -1.6, *El instante-*, tampoco existe para la relatividad un presente universal, que sea común a todo el cosmos, pues la sincronización universal no es posible. No hay un todo simultáneo en acto - 4.2.4, *La relatividad de la simultaneidad y el orden de sucesión-*. Pero es que, además, la propia masa de las partículas ya no es algo estable sino que se ve alterada en función de su movimiento absoluto -5.7, *Consecuencias de la teoría de la relatividad-*. Y este cambio es en sí mismo también un suceso que, una vez más, tiene su propio tiempo, aunque este aparente bucle, como sabemos, tiene un límite, que es la velocidad de la luz.

Y es precisamente esto, el movimiento, la clave de todo; como lo era en Aristóteles también. El movimiento en la relatividad, además de todo lo expuesto, es el responsable directo de que el espacio y el tiempo se fusionen en un único concepto tetradimensional: el espacio-tiempo de Minkowski. La dependencia del movimiento que tiene el tiempo de la relatividad general en lo concerniente al hecho de que el tiempo de cada sistema depende de su velocidad absoluta implica la acción causal del espacio-tiempo sobre los sucesos que en él acontecen y viceversa. La ralentización de todos los procesos físicos del sistema tiene un efecto en el tiempo de dicho sistema en un espacio-tiempo cuyas propiedades geométricas se



confunden con las propiedades físicas. Y esta interacción también la encontramos en el universo aristotélico donde cada uno de los cuatro elementos que componen la *physis* tiene su lugar en el cosmos, al que tiende por naturaleza, y así, los lugares, las regiones de este cosmos no les son en absoluto indiferentes. Por el contrario, en la física clásica hay una radical y clara diferenciación entre ambos dominios que impide que se dé esta interacción causal entre el mundo y el espacio y el tiempo absolutos.

El espacio de la relatividad general no es cualitativamente homogéneo pues en función de la densidad de materia tendrá unas propiedades distintas –diferente curvatura local- en cada zona o región. En este sentido se puede decir que posee una heterogeneidad de orden cuantitativo pero constituye su estructura de tal modo que se puede considerar cualitativamente pues le confiere un carácter marcadamente morfológico. En el caso del mundo aristotélico, sin embargo, se trata de una heterogeneidad de naturaleza absolutamente cualitativa, propiciada por aspectos radicalmente cualitativos –los cuatro elementos, en el mundo sublunar y las esferas celestes, en el supralunar-. En la teoría de la relatividad el espacio, al fusionarse con su contenido físico, adquiere el dinamismo del que Newton le privó y, con ello, se hace temporal –deviene un espacio-tiempo. Mientras que con Newton el espacio y el tiempo perdieron su materialidad y todas las propiedades que les ponían en relación con el *mundo de las cosas*, con el advenimiento de la relatividad el tiempo vuelve a ese *mundo de cosas* pues ahora el tiempo pertenece a la propia naturaleza del proceso, que es en lo que realmente consisten todos los cuerpos físicos.

El espacio y el tiempo son, pues, físicamente activos tanto para Aristóteles como para Einstein mientras que para Newton ambos se caracterizan por su pasividad. Tanto en Aristóteles como en la relatividad es el movimiento lo que determina el tiempo, su modo de ser. Un modo de ser que no es substancial en ninguno de los dos casos.

En la relatividad no es adecuado el concepto de desplazamiento tal como la física clásica lo aplicaba a la naturaleza debido a la desaparición de la partícula como se entendía hasta entonces –ver 5.3, *La síntesis entre materia y energía*-. Ahora adquiere el sentido más amplio de cambio, de transformación. Por otra parte, al desaparecer también el recipiente, el continente, el concepto de desplazamiento en el sentido clásico deja de ser aplicable. Así, con la sustitución del concepto de

movimiento como desplazamiento por el de transformación, el movimiento adquiere una connotación cualitativa de la que carecía en la física clásica y que comparte con el concepto aristotélico de movimiento como *dynamis*. Aquí, las cosas-sucesos, en virtud de su carácter procesual, se caracterizan precisamente por el cambio como su propiedad intrínseca, alejándose también así del concepto de sustancia estática y estable de la partícula-corpúsculo clásica. Sin embargo, en este punto debemos señalar una diferencia llamativa entre los paradigmas relativista y aristotélico: así como el cosmos aristotélico posee una heterogeneidad estructural y, tanto a nivel local como global está cualitativamente diferenciado en regiones, el cosmos relativista carece de regiones que puedan señalarse como privilegiadas frente a otras. A nivel global, el espacio-tiempo relativista es homogéneo si bien, en su estructura interna aparece una heterogeneidad que, repetimos, en última instancia es más cuantitativa que cualitativa ya que depende del grado de densidad de materia presente. Sin embargo, la estructura que adquiere el espacio-tiempo en base a este parámetro es dinámica y variable, si bien en su conjunto, como en Aristóteles, no hay creación de materia-energía nueva, cuyo valor total, aunque desconocido e indefinido, se postula como estable.

#### 9. *El tiempo no se compone de instantes.*

Como nos ha mostrado Aristóteles, es la continuidad lo que hace insostenible afirmar la instantaneidad en la *physis* -1.6, *El instante-*. La continuidad en la naturaleza –que es propia de todo cuerpo extenso, de todo movimiento y cambio y, por lo tanto, propia del tiempo- implica la negación del instante como algo real y la postulación, en su lugar, del intervalo, que es infinitamente divisible. El ahora-instante aristotélico no es nada, no tiene entidad, es sólo límite y, por tanto, no compone, aunque sí constituye el tiempo en tanto que continuo devenir. Y no es posible concebir la velocidad instantánea, la inmediatez, bajo estas condiciones. Por su parte, como hemos visto, la teoría de la relatividad general afirma el presente como relación de contemporaneidad, negando la simultaneidad absoluta -6.2, *El tiempo relativista no es múltiple sino uno-*; además de la constatación, en el ámbito de la teoría de la relatividad especial, de que no es posible la instantaneidad ya que no se pueden dar acciones a distancia al no ser posible la velocidad infinita: todo fenómeno en el universo tiene un recorrido espaciotemporal, una velocidad finita, no hay inmediatez y no hay simultaneidad universal -4.2.2, *Los dos postulados de la teoría de la relatividad especial-*.

Como dice Aristóteles, ni el tiempo se compone de instantes sin duración ni un proceso se compone de una serie de estados instantáneos y esto se debe a la continuidad y, así como el movimiento aristotélico es *proceso* en lugar de *sucesión de estados de cosas*, la relatividad añade que tampoco hay *cosas* sino *sucesos* o *acontecimientos*.

Por otra parte, un móvil no tiene en ningún momento, en ningún instante preciso, una posición precisa -y si esta afirmación tiene o no tiene algo que ver con el principio de incertidumbre de la física cuántica, que afirma que no es posible determinar simultáneamente con precisión la posición y el momento de una partícula, es una cuestión que escapa a nuestro estudio-. Esto no se debe a la dificultad de efectuar una medición absoluta y exacta. Un móvil, mientras se está moviendo, no tiene una posición precisa; y esto es en virtud del carácter continuo del movimiento. Esta afirmación pone de manifiesto la misma esencia de la continuidad. Análogamente, tampoco hay un instante preciso. El movimiento no es una suma de reposos, el espacio no es una adición de puntos y el tiempo no es una sucesión de instantes. La indeterminación que impone el continuo se encuentra en todas las magnitudes físicas. Postular el instante -que es estático- es, por lo tanto, negar el tiempo entendido como medida del cambio o movimiento; éste, el cambio, es siempre dinámico y no es posible medirlo mediante lo no dinámico.

En general, el movimiento relativo de un cuerpo -o cualquier otra magnitud física, como su velocidad- no puede ser determinado con exactitud en un momento dado sino únicamente por aproximación. Y así ocurre en la escala macroscópica. Por lo tanto, el planteamiento de Zenón, que se basa en la afirmación, en el reconocimiento de la continuidad espacial, deviene negación del movimiento, de la posibilidad del movimiento, al no considerar la continuidad del tiempo y entenderlo como una suma de instantes estáticos. El movimiento es posible precisamente gracias a la inexistencia del instante. Y esto nos lleva a hablar del cosmos como proceso en lugar de una sucesión de estados de cosas, de capas de presentes diferenciados que se superponen unos a otros. Parece ser la indeterminación connatural al carácter procesual del universo la causa directa de la incertidumbre a la que, en última instancia, siempre se acaba enfrentando el conocimiento.

## 10. La flecha del tiempo

A diferencia del universo newtoniano, el universo relativista no es incompatible con un mundo espacialmente cerrado y con límites. En cuanto al tiempo, en la teoría de la relatividad la distinción entre pasado, presente y futuro no surge de su descripción matemática pues ésta no es incompatible con la posibilidad de un tiempo cerrado que, como un bucle, volviera cíclicamente sobre sí mismo. -5.6.2, *Relatividad general y cosmología*-. El mismo Einstein afirma explícitamente que la flecha del tiempo es ilusoria. Sin embargo, como hemos visto, *de facto*, el universo sí tiene historia, dado su manifiesto movimiento de expansión, y esta historicidad puede ser explicada en el contexto de la relatividad general en base a la relación causal y su área de restricción representada por los conos de luz: un efecto no puede preceder nunca a su causa porque la información de un acontecimiento no puede aparecer antes de que éste acontezca; y esto se debe a que la energía viaja a una velocidad finita y, por tanto, tiene una naturaleza espacio-temporal.

En cuanto al universo aristotélico, que es esférico –cerrado y con límites-, lo cohabitan dos modalidades en lo que se refiere a la *flecha temporal*: a escala global el universo tiene un movimiento cíclico y eterno –propiedades, ambas, que hacen imposible diferenciar pasado, presente y futuro- encarnado en el de sus esferas concéntricas mientras que en el mundo sublunar es donde se da esta irreversibilidad, esta orientación o flecha temporal marcada por los acontecimientos que pasan del presente al pasado. Sin embargo, esta historicidad acaba siendo absorbida por el gran ciclo cósmico de manera que, en última instancia, se postula la desaparición y reedición de los acontecimientos sublunares en un cosmos que permanece, en definitiva, a escala global idéntico a sí mismo. Y, en este sentido, Aristóteles, como hemos visto, no concibe el nacimiento del tiempo porque no concibe el nacimiento del cosmos, que es eterno e increado, en sintonía –en este aspecto sí- con la parmenídea afirmación del ser y negación del no-ser.

La cosmología contemporánea reconoce la flecha del tiempo en su consideración de la realidad como un proceso –consideración también y sobre todo aplicable al dominio de lo biológico-. Por otra parte, además, todo evento que se produce en el universo se da de forma novedosa en virtud de la propiedad heracliana del tiempo según la cual nunca se repiten exactamente las mismas circunstancias en el devenir de los acontecimientos. El universo es, pues, histórico, a pesar de la universalidad de las leyes físicas que lo conforman. A pesar, también, del carácter simétrico de

estas leyes físicas, la historia del universo presenta una asimetría en su conjunto que, por lo tanto, no es nomológica pero sí es fáctica. Aristóteles, por su parte, considera que la temporalidad se pone de manifiesto en dominio de la *physis* y, fundamentalmente, en el ámbito de lo humano.

El hecho de que, debido al dinamismo del universo de la teoría de la relatividad general, no existe la simultaneidad universal, no impide, sin embargo, que a nivel cosmológico sí se pueda hablar de un tiempo cósmico e, incluso, de una edad del cosmos, por lo que el tiempo es *uno* pues pertenece al todo cosmológico, aunque no es absoluto en su manifestación. La conexión causal marca el sentido de su evolución en una única dirección y sentido haciéndolo irreversible a escala global y también a escala local. Es abierto en tanto que el futuro -que deviene presente y luego pasado- está asociado a la novedad pues no es preexistente; cada presente es un presente nuevo por lo que es un tiempo realmente irreversible.

En cuanto al principio, la existencia de dirección y sentido temporal en virtud del movimiento de expansión a escala global hace necesario un origen en el tiempo. La negación de dicho principio implica la ausencia de dirección global aunque sí sería compatible con la orientación temporal a escala local (como ocurre en el universo aristotélico, que sólo es histórico en la región sublunar que ocupa la *physis*). El incremento de organización y complejidad que se da a escala local -que caracteriza, por ejemplo, a la biosfera- sería, por lo tanto, compatible con el finalismo aristotélico, si bien el movimiento inverso que se da a escala global -el aumento de entropía- indicaría una flecha en el sentido contrario hacia una eventual muerte térmica del universo.

Frente al carácter convencional de la asimetría que presenta el tiempo newtoniano la asimetría temporal relativista es nomológicamente convencional pero factualmente substancial y, por su parte, la asimetría temporal de Aristóteles es substancial en la región sublunar pero, como hemos dicho, no se puede postular a nivel cosmológico.

El espacio-tiempo de Minkowski de la teoría de la relatividad especial tiene una flecha fijada de forma convencional que está ligada a la estructura geométrica de los conos de luz. La topología del tiempo de la relatividad especial es un espacio homogéneo, vacío, desprovisto de todo, isótropo, que se puede representar mediante la recta real  $\mathbb{R}$  (de un infinito negativo a un infinito positivo). Como el

tiempo de la relatividad general, el tiempo está definido de forma operacional y es derivado pues se reduce a su medición. Derivado de la velocidad de la luz y de las partículas materiales.

En fin, al establecer aquí la comparación entre el concepto de tiempo aristotélico y el relativista frente al de la física moderna estamos invocando una vez más a la clásica oposición entre lo cuantitativo y lo cualitativo, lo estático y lo dinámico, lo finito y lo infinito, la razón y la intuición. La línea marcada por Parménides, Pitágoras, Descartes y Newton, frente a la seguida por Heráclito, Aristóteles, Leibniz y Einstein. Tal vez entre ambos polos, Kant. Nombres todos que, haciendo ciencia y filosofía, han marcado la historia de ambos dominios conformando la cultura que nos define *aquí y ahora*. En lo que respecta a esta serie de dicotomías, podemos decir que el paradigma newtoniano se encuentra en uno de los polos y, en frente, los paradigmas aristotélico y relativista. Pero, entre unos y otros, estos últimos se caracterizan precisamente por una considerable superación -por su integración y síntesis- de esas mismas dicotomías.

## Bibliografía

### A) Bibliografía principal

ARISTÓTELES. *Física*. Madrid: Gredos, 2008.

ARISTÓTELES. *Metafísica*. Madrid: Gredos, 1994.

ARISTÓTELES. *Del sentido y lo sensible y De la memoria y el recuerdo*. Buenos Aires: Aguilar, 1962.

ARISTÓTELES. *Acerca del alma*. Madrid: Gredos. 1978.

ARISTÓTELES. *Acerca de la generación y la corrupción. Tratados breves de historia natural*. Madrid: Gredos, 1987.

ARISTÓTELES. *Analítica primera en Aristóteles. Obras*. Madrid: Aguilar, 1973.

BERGSON, H. *La evolución creadora*. Madrid: Espasa Calpe, 1985.

BERGSON, H. *Ensayo sobre los datos inmediatos de la conciencia*. En *Bergson, obras escogidas*. Madrid: Ed. Aguilar, 1963.

BERGSON, H. *Memoria y vida*. Barcelona: Ed. Altaya, 1995.

BERGSON, H. *Materia y memoria*. En *Bergson. Obras escogidas*. Madrid: Ed. Aguilar, 1963.

BERGSON, H. *Duración y simultaneidad. (A propósito de la teoría de la relatividad)*. Buenos Aires: Ediciones del Signo, 2004.

BERGSON, H. *El viaje en proyectil*. En *Duración y simultaneidad. (A propósito de la teoría de la relatividad)* (pp. 227-237) . Buenos Aires: Ediciones del Signo, 2004.

BERGSON, H. *Reciprocidad de la aceleración*. En *Duración y simultaneidad. (A propósito de la teoría de la relatividad)* (pp. 239-243) . Buenos Aires: Ediciones del Signo, 2004.

BERGSON, H. *El tiempo propio y la línea de Universo*. En *Duración y simultaneidad. (A propósito de la teoría de la relatividad)* (pp. 245-259) . Buenos Aires: Ediciones del Signo, 2004.

BERGSON, H. *Discusión con Einstein*. En *Duración y simultaneidad. (A propósito de la teoría de la relatividad)* (pp. 263-271) . Buenos Aires: Ediciones del Signo, 2004.

BERGSON, H. *Los tiempos ficticios y el tiempo real*. En *Duración y simultaneidad. (A propósito de la teoría de la relatividad)* (pp. 273-292) . Buenos Aires: Ediciones del Signo, 2004.

DE LAPLACE, P. S. *Ensayo filosófico sobre las posibilidades*. Barcelona: Ediciones Altaya, 1995.

DESCARTES, R. *Discurso del método*. Madrid: Alfaguara, 1981.

D'ORS, E. *Las aporías de Zenón de Elea y la noción moderna del espacio-tiempo*. Madrid: Ediciones Encuentro, 2009.

EGGERS LAN, C.; JULIÁ, V. E. *Los filósofos presocráticos I*. Madrid: Gredos, 1981.

EINSTEIN, A. *La física: Aventura del pensamiento*. Buenos Aires: Editorial Losada S.A. 1939.

EINSTEIN, A. *Mi visión del mundo*. Barcelona: Tusquets Editores S.A. 1980.

- EINSTEIN, A. *Notas autobiográficas*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad* (pp. 95-104). Barcelona: Ediciones Altaya, S.A., 1993.
- EINSTEIN, A. *Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad* (pp. 61-67). Barcelona: Ediciones Altaya, S.A., 1993.
- EINSTEIN, A. *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad* (pp. 71-92). Barcelona: Ediciones Altaya, S.A., 1993.
- EINSTEIN, A. *Respuesta a las críticas*. En WANG, H. *Reflexiones sobre Kurt Gödel*. Madrid: Alianza Universidad, 1991.
- FEYNMAN, R. *El carácter de la ley física*. Barcelona: Tusquets Editores S.A., 2000.
- GALILEO GALILEI. *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Madrid: Editora Nacional, 1976.
- GÖDEL, K. *Una observación sobre la relación entre la teoría de la relatividad y la filosofía idealista*. En *Obras completas*. Madrid: Alianza Editorial, 2006.
- HEIDEGGER, M. *El concepto de tiempo*. Madrid: Editorial Trotta S.A., 1999.
- HESÍODO. *Teogonía*. Madrid: Gredos, 1990.
- KANT, I. *Crítica de la Razón Pura*. Madrid: Ediciones Alfaguara, 1798.
- KANT, I. *Historia General de la Naturaleza y Teoría del Cielo*. Buenos Aires: Juárez Editor, 1969.
- KANT, I. *La dissertatio de 1770*. Madrid: C.S.I.C., Edición Bilingüe, 1961.
- KIRK, G. S.; RAVEN, J. E.; SCHOFIELD, M. *Los filósofos presocráticos*. Madrid: Gredos, 1987.
- LANGEVIN, P. *Introducción a la relatividad*. Buenos Aires: Ediciones Leviatán, 1956.
- LANGEVIN, P. *La evolución del espacio y del tiempo. Introducción a la teoría de la relatividad*. Buenos Aires: Ediciones Leviatán, 1956.
- LEIBNIZ, G. *Nuevos ensayos sobre el entendimiento*. Madrid: Editora Nacional, 1977.
- LEIBNIZ, G. *Escritos científicos*. Granada: Editorial Comares S.L., 2009.
- LEIBNIZ, G. *Escritos Filosóficos*. Buenos Aires: Editorial Charcas, 1982.
- LEIBNIZ, G. *Monadología*. Oviedo: Pentalfa Ediciones, 1981.
- LEIBNIZ, G. *Discurso de metafísica*. Buenos Aires: Aguilar Argentina, 1972.
- LEIBNIZ, G.; CLARKE, S. *La polémica Leibniz-Clarke. (Edición de Eloy Rada)*. Madrid: Taurus Ediciones, 1980.
- LORENTZ, H.A. *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen*. Leiden: Ed. Kōrpern, 1895.
- MACH, E. *La ciencia de la mecánica*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad* (pp. 25-33). Barcelona: Ediciones Altaya, S.A., 1993.
- MINKOWSKI, E. *El tiempo vivido*. México: F.C.E., 1973.
- NEWTON, I. *Principios matemáticos de filosofía natural*. Barcelona: Altaya, 1997.



PEARCE WILLIAMS, L. *Introducción*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad* (pp. 9-13). Barcelona: Ediciones Altaya, S.A., 1993.

PLATÓN. *Timeo*. Madrid: Gredos, 1992.

PLATÓN. *Parménides*. En *Diálogos V*, Madrid: Gredos, 1988.

RUSSELL, B. *El análisis de la materia*. Madrid: Ed. Taurus, 1976.

RUSSELL, B. *Exposición crítica de la filosofía de Leibniz*. Buenos Aires: Ediciones Siglo Veinte, 1977.

SAN AGUSTÍN. *Confesiones*. Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos, 1963.

### **B) Bibliografía complementaria**

ARISÓ, A. *Nuevas respuestas a viejas preguntas. La vigencia de Aristóteles en la ciencia contemporánea*. Barcelona: PEUB, 2013.

BACHELARD, G. *La intuición del instante*. México: Fondo de Cultura Económica, 1999.

BERKSON, W. *Las teorías de los campos de fuerzas. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid: Alianza Universidad, 1981.

BLANCO LASERNA, D. *Einstein. La teoría de la relatividad. El espacio es una cuestión de tiempo*. Navarra: RBA, 2012.

BUENO MARTÍNEZ, G., *La metafísica presocrática*. Oviedo: Pentalfa, 1974.

BUTTERFIELD, H. *Los orígenes de la ciencia moderna*. Madrid: Taurus Ediciones, S. A., 1971.

BURNET, J. *L'aurora de la filosofía grega*. Barcelona: Barcelonesa d' Edicions. 2010.

BURTT, E. A. *Los fundamentos metafísicos de la ciencia moderna*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1960.

CAPEK, M. *El impacto filosófico de la física contemporánea*. Madrid: Editorial Tecnos, 1965.

CASSIRER, E. *Filosofía de las formas simbólicas*. México: Fondo de Cultura Económica, 1971.

CASSIRER, E. *Filosofía de la Ilustración*. México: Fondo de Cultura Económica, 1943.

CASSIRER, E. *Kant, vida y doctrina*. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.

CASTAGNINO, N.; SANGUINETI, J. J. *Tiempo y universo: una visión filosófica y científica*. Buenos Aires: Catálogos, 2006.

CASTORIADIS C. *Lo que hace a Grecia 1. De Homero a Heráclito*. Buenos Aires: 2006.

COHEN, I. B. *El nacimiento de la nueva física*. Madrid: Alianza Universidad, 1989.

COLLI G. *Zenón de Elea*. Barcelona: Ariel, 1961.

CONILL SANCHO, J. *El tiempo en la filosofía de Aristóteles*. Valencia: Series Valentina Facultad de Teología San Vicente Ferrer, 1981.

- CHERNIS H. *La crítica aristotélica a la filosofía presocrática*. UNAM, México, 1991.
- D' ABRO, A. *The evolution of scientific thought from Newton to Einstein*. Dover Pub. Inc. New York, 1950.
- DELEUZE, G. *Kant y el tiempo*. Buenos Aires: Cactus, 2008.
- DERRIDA, J. *Tiempo y presenci*. Santiago de Chile: Cormorán, 1971.
- ECHANDI, S. *La fábula de Aquiles y Quelone*. Zaragoza: Ed. Prensas Universitarias, 1993.
- ELÍAS, N. *Sobre el tiempo*. México: F.C.E., 1989.
- ESCOHOTADO, A. *Realidad y substancia*. Madrid: Santillana S. A. Taurus, 1997.
- GALPARSORO, J. I. *Sobre el supuesto carácter circular del tiempo en el eterno retorno*. Murcia: Daímon. Revista Internacional de Filosofía, nº 57, 2012.
- GARCÍA BAZÁN, F., *La concepción pitagórica del número y sus proyecciones*. Buenos Aires: Biblos, 2005.
- GARCÍA CALVO, A. *Contra el tiempo*. Zamora: Editorial Lucina, 2001.
- GARCÍA CALVO, A. *Lecturas presocráticas*. Zamora: Editorial Lucina, 2001.
- GARDIES, J. L. *Lógica del tiempo*. Madrid: Paraninfo, 1970.
- GIANNINI INÍGUEZ, H. *Tiempo y espacio en Aristóteles y Kant*. Santiago de Chile: Editorial Andrés Bello, 1982.
- GOLDSTEIN, R. *Gödel. Paradoja y vida*. Barcelona: Antoni Bosch Editor, 2005.
- GONZÁLEZ URBANEJA, P. L. , *Pitágoras: el filósofo del número*. Madrid: Nívola Libros y Ediciones S. L., 2007.
- GURMÉNDEZ, C. *El tiempo y la dialéctica*. Madrid: Siglo XXI, 1971.
- HARMAN, P. M. *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*. Madrid: Alianza Universidad, 1990.
- HAWKING, S. W. *Historia del tiempo*. Barcelona: Crítica, 1996.
- HILLER, H. B. *Espacio, tiempo, materia, infinito*. Madrid: Gredos, 1968.
- HULL, W. H. *Historia y filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel, 1961.
- HUSSERL, E. *Fenomenología de la conciencia del tiempo inmanente*. Buenos Aires: Editorial Nova, 1959.
- INCIARTE, F. *Tiempo, sustancia y lenguaje. Ensayos de metafísica*. Pamplona: L. Flamarique, Eunsa, 2004.
- JAQUES, E. *La forma del tiempo*. Buenos Aires: Paidós, 1984.
- JLÓPOV, M. I. *El universo y la búsqueda de la teoría unificada del campo*. Moscú: Editorial URSS, 1996.

- KLINE, M. *El pensamiento matemático de la Antigüedad a nuestros días (I, II y III)*. Madrid: Alianza Editorial, 1992.
- KORNER, S. *Kant*. Madrid: Alianza Universidad, 1955.
- KOYRÉ, A. *Del mundo cerrado al universo infinito*. Madrid: Siglo XXI, 1979.
- KOYRÉ, A. *Estudios de historia del pensamiento científico*. Madrid: Siglo XXI, 1977.
- KOURGANOFF, V. *Introducción a la teoría de la relatividad*. Barcelona: Editorial Labor S. A., 1967.
- KUHN, T. S. *Estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica, 1975.
- KURÓPULOS, P. *El tiempo en el hombre*. Madrid: Ayuso, 1970.
- LINDBERG, D. C. *Los inicios de la ciencia occidental*. Barcelona: Paidós, 2002.
- LOSEE, J. *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial, S.A., 1976.
- MARRAMAO, G. *Mínima temporalia. Tiempo, espacio, experiencia*. Barcelona: Editorial Gedisa, 2009.
- MASON, S.F. *Historia de las ciencias 4. La ciencia del siglo XIX*. Madrid: Alianza Editorial, 1986.
- MASSUH, V. *La flecha del tiempo*. Barcelona: Edhasa, 1990.
- MAXWELL, J. C. *Materia y movimiento*. Barcelona: Crítica, 2006.
- MICHELMORE, P. *Einstein. Perfil de un hombre*. Barcelona: Editorial Labor S. A., 1968.
- MIELI, A. *Panorama general de Historia de la Ciencia*. Buenos Aires: Espasa Calpe Argentina, 1945.
- MINDÁN, M., *Historia de la filosofía y de las ciencias*, Teruel: Fundación Mindán Manero, 2009.
- MONDOLFO, R. *El infinito en el pensamiento de la antigüedad clásica*. Buenos Aires: Imán, 1952.
- MONTERO, F. *Parménides*, Madrid: Gredos, 1960.
- MONTERO, F. *Mente y sentido interno en la Crítica de la razón pura*. Barcelona: Editorial Crítica, 1989.
- MÜELLER, M. *Tiempo y eternidad*. México: Fondo de Cultura Económica, 1970.
- ORTEGA Y GASSET, J. *El sentido histórico de la teoría de Einstein*. En *Albert Einstein y otros. La teoría de la relatividad* (pp. 164-172). Barcelona: Ediciones Altaya, S.A., 1993.
- PARKER, B. *El sueño de Einstein. La búsqueda de una teoría unificada del Universo*. Madrid: Ediciones Cátedra S. A., 1990.
- PENROSE, R. *La nueva mente del emperador*. Madrid: Mondadori, 1991.
- PETIT SULLÁ, J. M. *La filosofía de la naturaleza como saber filosófico*. Barcelona: Ediciones Acervo, 1980.
- PETIT SULLÁ, J. M.; PREVOSTI MONCLÚS, A. *Filosofía de la Naturaleza. Su configuración a través de sus textos*. Barcelona: Scire Universitaria 2004.

- PIAGET, J. *La epistemología del tiempo*. Buenos Aires: El Ateneo, 1971.
- PREVOSTI MONCLÚS, A. *La teoría del infinito de Aristóteles*. Barcelona: PPU, 1985.
- PREVOSTI MONCLÚS, A. *La física d'Aristòtil. Una ciència filosòfica de la natura*. Barcelona: PPU, 1984.
- PREVOSTI MONCLÚS, A. *Ciència i transcendència*. Barcelona: Editorial Casals, S.A., 1987.
- PRIGOGINE, I. Y OTROS. *El tiempo y el devenir*. Barcelona: Editorial Gedisa, 2000.
- PRIGOGINE, I. *Las leyes del caos*. Barcelona: Editorial Crítica S.L., 1999.
- REES, M. *Antes del principio. El cosmos y otros universos*. Barcelona: Tusquets Editores S. A., 1999.
- REICHENBACH, H. *Moderna filosofía de la ciencia*. Madrid: Editorial Tecnos, S. A., 1965.
- REICHENBACH, H. *El sentido del tiempo*. México: UNAM, 1959.
- REY PASTOR, J., *LHistoria de la Matemática*. Vol. 1. Barcelona: Editorial Gedisa, 1997.
- RIBAS, A. *Biografía del vacío*. Barcelona: Ediciones Destino, 1997.
- RIGAU, M. *Lugar y espacio*. Barcelona: PPU, 1986.
- SÁNCHEZ RON, J. M. *Einstein, la relatividad y las matemáticas*. La Gaceta de la RSME, Vol. 7.1, pp. 153-184, 2004.
- SÁNCHEZ RON, J. M. *El origen y desarrollo de la relatividad*. Madrid: Alianza, 1985.
- SÁNCHEZ RON, J. M. *James Clerk Maxwell. Escritos científicos*. Madrid: CSIC, 1998.
- SOLER GIL, F. J. *Aristóteles en el mundo cuántico*. Granada: Editorial Comares S. L., 2003.
- SOMMER, H. *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional*. Barcelona: Editorial Herder, 1979.
- STRAWSON, P. F. *Los límites del sentido*. Madrid: Revista de Occidente, 1975.
- TEJADA, J.; CHUDNOVSKY, E.; PUNSET, E. *El templo de la ciencia. Los científicos y sus creencias*. Barcelona: Ediciones Destino S.A., 2008.
- TURRÓ, S. *Descartes. Del hermetismo a la nueva ciencia*. Barcelona: Anthropos Editorial del Hombre, 1985.
- VAN FRAASSEN, B. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. Barcelona: Editorial Labor, 1978.
- VARIOS. *Historia de la geometría griega*. Seminario Orotava Historia de la Ciencia, Canarias: Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias, 1994.
- WHITEHEAD, A. N. *Proceso y realidad*. Buenos Aires: Editorial Losada, 1956.
- YOURGRAU, P. *El legado olvidado de Gödel y Einstein*. Barcelona: Tusquets Editores, 2007.

### **C) Artículos y revistas**

ARANA, J. *Euler y el concepto de materia*. Revista de Filosofía, nº 8, 1992, p. 303-328, ISSN: 0214-4921.

BLANCO, C. *Leibniz y la teoría de la relación*. Sevilla: Thémata. Revista de filosofía, 2005, Núm. 34.

CANALS VIDAL, F. *Sentido de la deducción subjetiva en el "intento capital" de la crítica*. Convivium números 29-34, Facultad de filosofía y letras, Universidad de Barcelona, 1969,

CARVAJAL CORREA, C. A. *La estructura de la pregunta por el tiempo en la Física de Aristóteles*. Colombia: Revista de Ciencias Humanas – UTP, nº 18, 2000.

CARVAJAL CORREA, C. A. *Las aporías del tiempo en la Física de Aristóteles*. Colombia: Revista de Ciencias Humanas – UTP, nº 19, 2000.

DELEUZE, G. *Cuatro lecciones sobre Kant*. [https://www.philosophia.cl/Escuela de Filosofía Universidad ARCIS](https://www.philosophia.cl/Escuela%20de%20Filosofia/Universidad%20ARCIS/).

ESCOHOTADO, A. *Aristóteles en el siglo XX*. México: U.I.A. Revista de Filosofía, Año XXI, nº 62, 1988.

GARCÍA DONCEL, M. J. *El tiempo en la física: de Newton a Einstein*. Seminari d'Historia de les Ciències, U.A.B. Enrahonar 15, 1989, pp. 39-59.

MOSTERÍN, J. *Gödel y el tiempo*. Revista de libros, nº 148, 2009, ISSN 1137-2249.

ORTIZ GALILEA, J. *El paradigma de la complejidad*. Braga: Revista Portuguesa de Filosofía. Filosofía e Ciencia, 2007.

PÉREZ QUINTANA, A. *Fuerzas, potencias, tendencias, sustancias. Física y metafísica en Leibniz*. Laguna: Revista de Filosofía, nº 18, 2006, pp. 11-34, ISSN 1132-8177,

PREVOSTI MONCLÚS, A. *Tiempo y alma desde Aristóteles y Santo Tomás*. Córdoba: Caja Sur Publicaciones, Actas del IV Congreso Internacional de la S.I.T.A., Tomo IV. Comunicaciones, 1999.

DE SAINT-OURS, A. *Bergson y la teoría de la relatividad especial*. Departamento de Filosofía. Universidad de París. Subido por Miguel Segundo Ortín a <https://www.academia.edu/5072675/BERGSON>.

TREJOS MARÍN, S. *Conceptos básicos del pensamiento griego sobre el tiempo*. Revista Acta Académica, Universidad Autónoma de Centro América, nº 26, 2000, pp. 213-226, ISSN 1017-7507

VAUGHAN, C. N. *¿Por qué Leibniz requiere del tiempo absoluto?* Bogotá: Ideas y Valores, nº 134, 2007, vol. 56, pp. 23-44, ISSN 0120-0062.

VICENTE NAVARRO, E. *Las siluetas del tiempo*. A Parte Rei. Revista de Filosofía, nº 36, [serbal.pntic.mec.es/~cmunoz11/navarro36.pdf](http://serbal.pntic.mec.es/~cmunoz11/navarro36.pdf).