



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS



FACULTAD DE
FILOSOFÍA Y LETRAS

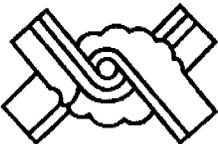
TEMPORALIDAD, IRREVERSIBILIDAD Y SENTIDO DEL TIEMPO
EN LA FILOSOFÍA DE LA FÍSICA

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA
PRESENTA

PÁVEL REAL PÉREZ

DIRECTOR: DR. ÁLVARO JULIO PELÁEZ CEDRÉS

ENERO DEL 2009





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

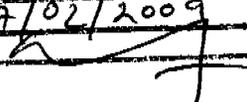
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AUTORIZO a la Comisión Ejecutiva de Bibliotecas en la UNAM a difundir en formato electrónico el contenido de mi trabajo, respectivamente:

NOMBRE: Real Pérez, Pavel

FECHA: 17/02/2009

FIRMA: 

Para Leticia, Luciano y Yevgueni

Con profunda gratitud a:

*Dr. Álvaro Peláez Cedrés
Dr. Alejandro S.F. Pomposo García
Dr. Xavier de Donato Rodríguez
Dr. Eduardo González de Luna
Dr. Mario Casamueva López*

ਕਵਣੁ ਸੁ ਵੇਲਾ ਵਖਤੁ ਕਵਣੁ ਕਵਣੁ ਥਿਤਿ ਕਵਣੁ ਵਾਰੁ ॥

Kavaṇ so velā vakḥatḥ kavaṇ kavaṇ thiṭ kavaṇ vār.

What was that time, and what was that moment? What was that day, and what was that date?

ਫਿਰਿ ਫਿਰਿ ਜੂਨਿ ਭਵਾਈਅਨਿ ਜਮ ਮਾਰਗਿ ਮੁਤੇ ॥

Fir fir jūn bhavāīan jam māragi muṭe.

Time and time again, they are consigned to reincarnation, and abandoned on the path of Death.

ਤਦਹੁ ਆਕਾਸੁ ਨ ਪਾਤਾਲੁ ਹੈ ਨਾ ਤ੍ਰੈ ਲੋਈ ॥

Ṭadahu ākāsa na pātāl hai nā ṭrai loī.

At that time, there were no Akaashic Ethers, no nether regions, nor the three worlds.

ਵਿਸੁਏ ਚਸਿਆ ਘੜੀਆ ਪਹਰਾ ਥਿਤੀ ਵਾਰੀ ਮਾਹੁ ਹੋਆ ॥

visuḏe ḥasiā ghḥīā pahra thiṭī vārī māhu hoā.

The seconds, minutes and hours, days, weeks and months,

ਸੂਰਜੁ ਏਕੋ ਰੁਤਿ ਅਨੇਕ ॥

Sūraj eko ruṭ anek.

and the various seasons originate from the one sun;

ਨਾਨਕ ਕਰਤੇ ਕੇ ਕੇਤੇ ਵੇਸੁ ॥੨॥੨॥

Nānak karṭe ke keṭe ves. ||2||2||

O Nanak, in just the same way, the many forms originate from the Creator. ||2||2||

For many years I have been tormented by the certainty that the most extraordinary discoveries await us in the sphere of Time. We know less about time than about anything else.
-Andrei Tarkovsky. Time within time: the diaries, 1970-1986.

Los dones

Le fue dada la música invisible que es don del tiempo y que en el tiempo cesa....
- Jorge Luis Borges. Atlas.

VI

Cambios

¿Qué es el Tiempo? Un misterio sin realidad propia y omnipotente. Es una condición del mundo fenomenal, un movimiento mezclado y unido a la existencia de los cuerpos en el espacio y a su movimiento. Pero ¿habría tiempo si no hubiera movimiento? ¿Habría movimiento si no hubiera tiempo? ¡Es inútil preguntar! ¿Es el tiempo función del espacio? ¿O es lo contrario? ¿Son ambos una misma cosa? ¡Es inútil continuar preguntando! El tiempo es activo, produce. ¿Qué produce? Produce el cambio. El ahora no es el entonces, el aquí no es el allí, pues entre ambas cosas existe siempre el movimiento. Pero como el movimiento por el cual se mide, el tiempo es circular y se cierra sobre sí mismo, ese movimiento y ese cambio se podrían calificar perfectamente de reposo y de inmovilidad. El entonces se repite sin cesar en el ahora, y el allí se repite en el aquí. Y como, por otra parte, a pesar de los más desesperados esfuerzos, no se ha podido representar un tiempo finito ni un espacio limitado, se ha decidido creer que el tiempo y el espacio son eternos e infinitos con la esperanza de conseguir una explicación un poco más perfecta. Pero al establecer el postulado de lo eterno y de lo infinito, ¿no se destruye lógica y matemáticamente todo lo finito y todo lo limitado? ¿No queda todo reducido a cero? ¿Es posible una superposición en lo infinito? ¿Cómo poner de acuerdo estas hipótesis auxiliares de lo eterno y de lo infinito con los conceptos de distancia, movimiento y cambio? ¿No queda más que la presencia de los cuerpos limitados en el Universo? ¡Es inútil preguntar!

- Thomas Mann. La montaña mágica.

Índice

1. Introducción	1
2. Marco histórico	5
2.1 Antigüedad	5
2.2 Edad Media	8
2.3 Siglos XVI y XVII	10
2.4 Siglos XVII y XVIII	11
3.0 La imagen científica del tiempo	20
3.1 Tiempo físico y flechas temporales	23
3.2 Tiempo matemático	27
3.3 Reichenbach y la causalidad	33
3.4 El tiempo lingüístico de Cassirer	41
3.5 Propiedades generales de las teorías espacio-temporales	44
3.6 Crisis del determinismo. Escuela de Bruselas	53
3.6.1 Concepto estructural del tiempo	58
3.6.2 El tiempo físico	64
4. La imagen subjetiva del tiempo	66
5. Conclusiones	72
6. Referencias	77

1. Introducción

Adentrarse en el problema del tiempo significa abordar el problema de la realidad. La física debe ser capaz de justificar la asimetría fundamental que define la llamada dirección del tiempo. Los fenómenos de la vida, incluso en sus formas más elementales, presuponen una distinción entre pasado y futuro. Sorpresivamente, las leyes físicas naturales están formuladas de modo contrastante a esta asimetría fundamental, pues son esencialmente simétricas ante inversiones temporales. El problema del tiempo está orientado a esclarecer la conexión entre la experiencia subjetiva del tiempo para un organismo humano o agente epistémico y las propiedades objetivas del tiempo en la naturaleza.

La ciencia no recoge ni agrupa las experiencias sin seleccionarlas, sino que las interpreta con base en criterios conceptuales como el tiempo. La física moderna ha dado al tiempo el peso de un hecho empírico pues permea el dominio de las partículas elementales, la cosmología, las estructuras fuera del equilibrio; cada vez con más frecuencia se descubren procesos orientados en el tiempo o procesos irreversibles.

¿Qué tipo de objeto es el tiempo? ¿Materia o sistema de relaciones? ¿Está relacionado con la materia, y si es así, de qué modo? ¿En qué sentido el tiempo es real o irreal, objetivo o subjetivo? ¿Es una entidad física, una ficción, un objeto matemático o tal vez algún otro tipo de entidad?

Gran parte del debate filosófico acerca del tiempo concierne a problemas de filosofía del lenguaje; algunos de ellos surgen del problemático uso de los tiempos gramaticales o formas verbales, particularmente del verbo “ser”. El lenguaje de las teorías físicas incorpora abiertamente locuciones temporales. La interpretación de tales locuciones está provista por la teoría del tiempo y en ese sentido es dependiente de la filosofía y en particular de la filosofía del lenguaje.

El estatuto de los tiempos gramaticales es otra vertiente en la filosofía del tiempo. Las locuciones temporales como “pasado”, “presente” y “futuro”, que son el objeto de análisis desde la filosofía del lenguaje, presuponen ya la utilización de tiempos verbales contenidos en una proposición, lo que conduce a una suerte de argumento circular. El término “presente” se aplica a un evento si y sólo si éste ocurre al tiempo de la preferencia. Análogamente, los términos “pasado” y “futuro” se aplicarán a

eventos que ocurren respectivamente antes y después de la declaración. No obstante algunos dirían que nada que corresponda a estas formas gramaticales necesita ser admitido como rasgo fundamental del mundo (Sider, 2001).

Las civilizaciones antiguas prestaron más atención al ritmo de repetición de los fenómenos que a su simple sucesión. Es el tiempo mítico o cíclico el que impregna los ritos con que se intenta perpetuar el pasado, para así suavizar la brevedad de la vida y la inevitabilidad de la muerte. “El mito del eterno retorno (...) presenta un orden de formas fijas que aparecen y reaparecen en todas las épocas. (...) Nunca hubo un tiempo en el que el tiempo no existiera” (Campbell, 1991). Por ejemplo, los esotéricos shiítas distinguían entre el “tiempo espeso” que mide el cambio o movimiento de los entes materiales, y el “tiempo sutil” que mide los movimientos espirituales en el individuo (Cabodevilla, 1982). La multiplicidad de la experiencia, como coexistencia en el espacio o como sucesión en el tiempo, nunca deja de ser incompleta y parcial y no podemos unificarla. Por otro lado, el acto de contar o cuantificar es uno de los “ritos” más elementales. Extensión y duración coinciden y son atributos fundamentales de la divinidad. Es común enumerar sucesivamente las determinaciones dogmáticas, los diferentes “títulos” del Ser supremo, poniéndolas en relación con las características lógicas del espacio y el tiempo. La espiritualización del espacio y el tiempo señala el camino para su futura idealización, llevada a cabo por la empresa científica.

Desde una postura neo-kantiana, suele pensarse que el carácter ilimitado del espacio y el tiempo nos ofrece la garantía de que estos conceptos no entrañan cosas, sino simplemente ideas del entendimiento puro; la vigencia y la necesidad que se les atribuyen no deben buscarse en modo alguno en las cosas mismas, sino en nuestros propios conceptos e ideas de las cosas. Para filósofos como Cassirer, nuestro saber demostrativo se limita a poner de manifiesto la existencia de relaciones inmanentes y válidas entre las representaciones de las cosas, mientras que la postulación de “ideata” dotados de existencia independiente debe considerarse problemática en cuanto a sus interpretaciones.

El valor metodológico que el tiempo posee frente a las sensaciones y a las percepciones se debe considerar como medio de conocimiento: la posición que el tiempo ocupa dentro del *corpus* del conocimiento no es ni la realidad absoluta en que lo convierte la matemática, ni la simple forma subjetiva de representación que trata de hacer de ella el empirismo psicológico. La idea es buscar una

representación de la estructura espacio-temporal en la que las nociones empíricamente significativas tengan componentes en correspondencia con tal representación.

Para algunos neokantianos, la interpretación moderna del tiempo como una entidad absoluta, desligada de toda relación con las cosas sensibles y concebida como entidad supraindividual, sólo puede explicarse en último término justo mediante la referencia a una conciencia supraindividual. El entendimiento no se encuentra con el tiempo como con algo externo y dado, sino que es una de sus propias facultades de representación.¹

La filosofía ha buscado, desde sus comienzos, una substancia eterna como fundamento estable del mundo. La idea de lo eterno va orientada hacia lo inmutable o lo que siempre reaparece y esta idea se mantiene en muchas concepciones, especialmente teológicas. Lo eterno sólo puede ser lo que no cambia, y equivale a lo bueno, lo valioso y lo confiable, pues no pueden modificarse sus relaciones con nosotros. Esta concepción del tiempo, como medio esencial para la comprensión del mundo, logró extenderse al siglo XIX a través de dos grandes corrientes ideológicas emanadas del dualismo cartesiano: el racionalismo idealista, que vio en la historia humana la evolución dialéctica del pensamiento, y el materialismo, el cual, por el contrario, interpretaba la historia en el sentido de una evolución homogénea de una única realidad, la materia.²

Se puede considerar a la historia de la ciencia como una historia de ontologías cambiantes, pues a medida que transitamos de una teoría a otra, estamos ante diferentes representaciones teóricas de lo que hay en el mundo: objetos y hechos. La misma historia sugiere que importantes elementos estructurales de las teorías se preservan a lo largo de estos cambios conceptuales. Esta forma de realismo estructural sostiene que lo único que conocemos son estructuras, mientras que las entidades u objetos en sí permanecen inaccesibles o velados. Siguiendo a Poincaré tenemos que los términos teóricos son “los nombres de las imágenes que sustituimos por los objetos reales que la naturaleza ocultará para siempre de nuestros ojos. Las relaciones (...) entre estos objetos reales (noumenos) son la única realidad

¹ Ploucquet, G. *Principia de substantiis et phaenomenis. Accedit methodus calculandi in logicis ab ipso inventa, cui praemittitur commentatio de arte characteristicis*. Francfort y Leipzig, 1764. *Apud*, Cassirer, 2000.

² Para el racionalismo, el tiempo supone una conciencia capaz de operar la síntesis del cambio. Fuera de tal conciencia no hay tiempo sino duración cambiante, historia vivida. Aubert dice al respecto que “(c)onviene (...) distinguir la duración o tiempo encarnado y vivido en las cosas, y el tiempo como percepción y medida de la duración”. (Aubert, 1972). Por otro lado, el materialismo –hacia el cual se ha orientado la física– sostiene, como lo ha expresado Arjipstev “que no sólo las cosas materiales, sino también sus propiedades –movimiento, espacio, tiempo, sujeción a leyes, etc.– son una realidad objetiva” (Arjipstev, 1966).

que podemos obtener” (Poincaré, 1902). Es así que el tiempo se puede entender como una entidad estructural, abstracta, matemática.

Como realista estructural, Cassirer sostiene que aquello a lo que la ciencia llama sus “objetos” se descompone en una red de relaciones que se sostienen mediante un conjunto de principios y reglas de composición. Son estos los *principios de simetría* que representan lo que es invariante al interior de la red relacional misma. La objetividad física queda constituida en términos de formas funcionales de conexión y consistencia: la física ha completado la transición de lo substancial a lo funcional, a través de la demanda de covariancia de las leyes naturales. El estrato de la objetividad está dado por la invariancia de las relaciones entre magnitudes. No obstante, para otros filósofos como Gadamer, los problemas de la ciencia cuantitativa provienen de la exhaustiva formulación matemática de la física, eliminando los últimos restos de intuitividad. Lo que aparece ahora en lugar del concepto filosófico de naturaleza son ecuaciones de simetría (Gadamer, 2001).

El tema central de este trabajo es la tensión existente entre la imagen científica del tiempo provista por la física-matemática, dominada por nociones deterministas, y el tiempo considerado desde el sentido común y la percepción ordinaria. Para comenzar se hará un breve recuento histórico sobre las distintas formas en que se ha abordado el problema del tiempo desde la antigüedad hasta el siglo XVIII, para abordar posteriormente algunas valoraciones hechas por la física moderna como deudora de los cambios conceptuales de los siglos XIX y XX. En el siguiente capítulo se considera la imagen científica del tiempo restringida a la visión determinista que de él ha hecho la física, así como la crítica a ésta desde la Escuela de Bruselas que plantea un tiempo “enriquecido” capaz de trascender las limitantes del tiempo paramétrico y cuasi-estático planteado por el determinismo. En el último capítulo se abordan las virtudes de un tiempo dotado de mayor contenido o significado subjetivo en consonancia con el sentido común y con un amplio cúmulo de intuiciones; esto es, un tiempo “enriquecido” que puede abordar de mejor manera problemas asociados a las ciencias cognitivas, a la conciencia, los sistemas vivos y en general problemas que orbitan alrededor de la complejidad.

2. Marco histórico

A continuación se revisan, con suma brevedad, las principales consideraciones históricas que se han hecho en torno al problema del tiempo, desde la antigüedad helénica y hasta el siglo XVIII, época de la ciencia física en ciernes. Esta revisión o mención es pertinente si se considera al discurso histórico como la reactualización del pasado, además de que las narrativas históricas constituyen el pensamiento de la humanidad decantado en la construcción de la actualidad. Ya que “si el presente es verdaderamente algo, no es más que el último capítulo de la historia. (...) sólo podemos ver el presente, y sentirlo, y darle existencia en nosotros, si lo miramos de manera oblicua: volviendo la vista hacia el pasado” (Cabodevilla, 1982).

2.1 Antigüedad

Para Demócrito, el tiempo está directamente relacionado con la existencia de los átomos mismos, pues éstos son eternos e invariables. El tiempo sólo guarda relación con el movimiento de los átomos y su unión en el espacio (Sviderski, 1960).

La idea de tiempo como cantidad fue formulada por el pitagórico Arquitas de Tarento: “El tiempo que transcurre entre dos sucesos es fracción de una cantidad inherente a la naturaleza del universo”. En los pitagóricos, el mundo es ritmo y armonía, los cuales se manifiestan en las entidades geométricas de naturaleza espacial. Pero esos mismos ritmos y armonías también se manifiestan en el arte musical, donde todo ritmo precisa de un tiempo. Sin embargo, todo vuelve a detenerse, pues esos ritmos se repiten siempre iguales a sí mismos. Reiteradamente encontramos a la *repetición* como la manera más sutil de detener la *movilidad* y la *creatividad* del tiempo.

Para Platón, el tiempo es la imagen móvil de la eternidad, donde ésta no significa tiempo infinito sino una realidad no gobernada por el flujo temporal, no obstante lo cual se refleja en el curso del tiempo. El tiempo se identifica con el movimiento, y en especial con la rotación de las esferas celestes; además es engendrado: es cocvo con el cielo que ha tenido un principio. Platón consideró al tiempo como una característica esencial del mundo sensible, aunque fuera rigurosamente excluido de la geometría pura, que estaba asociada con el mundo eterno y acausal de las formas arquéticas ideales. Los acontecimientos en el tiempo son una forma inferior de realidad, esto conduce a Parménides a creer que

los hechos no son reales sino meras ilusiones. El mundo de la naturaleza es irreal y la historia humana ilusoria. El tiempo no tiene ningún sentido y la vida ningún significado. En el pensamiento de Heráclito todas las cosas fluyen, siendo el devenir, tomado únicamente como cambio, la esencia de la vida: el tiempo es la ley de mutación de los fenómenos. Heráclito duda del ser inmóvil por lo que encumbra al cambio, al devenir: “Para aquellos que penetran en los mismos ríos, otras y otras aguas fluyen. (...) En los mismos ríos penetramos y no penetramos, somos y no somos”. Comparándolo en su constante movilidad con el fuego, le asigna al cambio o devenir la función de primer principio de todas las cosas: “Fuego eternamente vivo y que eternamente se desarrolla”. Pero un ciclo inexorable es la trampa que vuelve a paralizar el devenir en su conjunto, pues sólo así parece poder escapar a la acción devastadora del tiempo. El tiempo destruye y sólo la repetición hace posible que su acción destructora no se cumpla, no sea completa (nótese aquí el antecedente a las enunciaciones de la Segunda Ley de la Termodinámica y al tiempo de la recurrencia de Poincaré). Por eso Heráclito, aunque en algún momento parece insinuar la aparición de lo imprevisible, es decir, de una novedad absoluta, enseguida aclara que sólo es un imprevisible para nosotros, pero contenido dentro de las posibilidades ya existentes. Estas posibilidades están dadas ya por la idea del eterno retorno: “El Sol no es uno sólo, sino que es nuevo cada día, siempre nuevo continuamente (de manera continua)”. La cuestión es saber si este fuego, en cambio constante, “se prende con medida y se apaga con medida”, es decir, según leyes fijas y previstas; esto con el fin de tomar una postura ante el determinismo.

En la *Física*, Aristóteles considera que el tiempo juega un papel fundamental en las nociones de cambio, movimiento y devenir. Un cambio implica algo que cambia, una condición inicial a partir de la cual esa cosa cambia y una condición final a la que cambia. El cambio no será un cambio esencial si estas condiciones están descritas como condiciones de comparación. Las condiciones inicial y final han de ser condiciones de la misma clase, con tal de no incurrir en confusión de categorías. Entre condiciones compatibles no se dan cambios esenciales, sino “entre los contrarios o sus intermedios, y entre los contradictorios”. Un cambio esencial es el cambio suscitado en un sujeto de una propiedad a otra dentro de la misma familia de múltiples propiedades o cualidades. Los miembros de cada familia son mutuamente incompatibles en el sentido de que una cosa no puede tener la propiedad P mientras tiene la propiedad Q , si es que P y Q pertenecen a la misma familia. Los miembros de cada una de estas familias han de tener el mismo grado de determinación o precisión. Una ulterior división de los cambios esenciales son la *generación*, la *destrucción* y el *movimiento* o *proceso*. Un cambio de un

sujeto a su no-sujeto contrario es una destrucción; el inverso es una generación. Un movimiento o proceso es un cambio esencial de un sujeto a otro sujeto contrario. El movimiento puede ser un cambio respecto de la *cualidad*, de la *cantidad* o del *lugar*. Un movimiento tiene partes que están dispuestas en un cierto orden. Aristóteles entiende “término inicial” como el “término que en el tiempo precede inmediatamente al movimiento”, dando así por supuesto el orden temporal, pero incurriendo en una enunciación tautológica.

Es imposible que el tiempo exista o se conciba sin un presente, y el presente es una especie de “medio” en el sentido que es a la vez punto de partida del tiempo futuro y fin del tiempo pasado; entonces, necesariamente, dice Aristóteles, el tiempo “es” siempre. Por consiguiente, si el tiempo en cuanto aspecto del movimiento es eterno, es evidente que el movimiento ha de ser eterno también. Estos argumentos suponen un reto a las doctrinas de la creación.

Para Aristóteles, el tiempo no es conceptualmente independiente del cambio: no podemos percibir el tiempo en sí mismo, sino que caemos en la cuenta del paso del tiempo sólo porque percibimos el cambio o movimiento. “Rápido” y “lento” están definidos por el tiempo: “es rápido aquello de lo cual ocurre mucho en poco tiempo”. El tiempo no es ni idéntico al movimiento ni totalmente independiente de él. Si el tiempo es una entidad que tiene partes actuales o potenciales, el movimiento o proceso tiene una magnitud o “número”: el número del movimiento según lo anterior y lo posterior. El tiempo no es movimiento, sino su aspecto numerable. Así como el número nos permite distinguir “lo más” y “lo menos”, el tiempo nos permite distinguir “lo más” y “lo menos” del movimiento (Galindo Tixaine, 1995). Si tomamos el tiempo por la cantidad del movimiento, del desplazamiento, los momentos del tiempo “ahora” aparecen como unidades de la cantidad. El tiempo es continuo a través del “ahora” y se divide “ahora”. Ser en el tiempo es existir en un tiempo dado y ser “en la cantidad”, lo mismo que decimos de las cosas, que están “en la cantidad”.

Aristóteles trata de tener en cuenta también el momento del reposo, no atribuyéndole al reposo ninguna noción especial de duración. Como el tiempo es la medida del movimiento será también la medida del reposo, ya que cualquier reposo existe en el tiempo. El tiempo es una ley del movimiento y del reposo: “No sólo medimos el movimiento con el tiempo, sino también éste con aquél, porque se definen

mutuamente.” ¿Qué ocurre si el movimiento cesa? Para que el tiempo no se detenga, Aristóteles se ve obligado a afirmar que el tiempo también es medida del reposo.

Es posible establecer dos niveles en la eternidad que Aristóteles atribuye a la divinidad: *i)* como absoluta trascendencia respecto del tiempo (extratemporalidad de Dios) y *ii)* a través de la infinitud temporal del cosmos (la sucesión infinita de movimientos y momentos), pues el motor inmóvil, causa eterna e inmutable, opera como la imprescindible exigencia para la eterna existencia del cosmos.

2.2 Edad Media

La formulación medieval consideraba que el tiempo es la medida del movimiento según lo anterior y lo posterior. “Medida” tiene aquí el sentido de “magnitud” o “aspecto cuantitativo o numerable”. Más que del tiempo, estas concepciones ofrecen una descripción de la duración.

Para San Agustín, el tiempo y las entidades creadas son mutuamente dependientes, “no puede darse el tiempo donde no existe criatura alguna, cuyos movimientos originen los tiempos y, en consecuencia, por el hecho de existir siempre, no deja de haber sido creada y de no ser coeterna al Creador”.¹ La ignorancia de San Agustín no es un azorante estado de penuria intelectual suyo, sino la expresión de la realidad mínima del tiempo: “¿qué es el tiempo? ¿Quién podría explicarlo fácil y brevemente? (...) lo entendemos (...) cuando hablamos de él, y lo entendemos también cuando lo oímos de otro que nos está hablando (...) ¿qué es, pues, el tiempo? si nadie me lo pregunta, lo sé; pero si quiero explicarlo a quien me lo pregunta, lo ignoro”.²

Para Santo Tomás de Aquino el orden de las partes del movimiento sería el orden de los lugares recorridos. Puesto que las relaciones espaciales ordenan las posiciones *A*, *B* y *C*, las mismas relaciones ordenan las partes del movimiento: estar en *B* sería una parte intermedia entre estar en *A* y estar en *C*. Este argumento no es concluyente. Si no es respecto a un determinado punto de referencia, no tiene sentido hablar de que una posición *A* es anterior a otra *B*; además una posición puede ser intermedia en el recorrido sin estar espacialmente entre el punto de salida y el de llegada. El movimiento tiene un comienzo y éste es el principio del tiempo.

¹ Agustín, San. “La ciudad de Dios”. En: *Obras de San Agustín*. Madrid, La Biblioteca de Autores Cristianos, Tomo XVI, 1964. *Apud*. Van Fraassen, 1978.

² Agustín, San. *Conf. Lib. XI*, c. 17. *Apud*. Zubiri, 1996.

La escolástica introduce la distinción entre *tiempo real* y *tiempo imaginario*. Cualquier necesidad concerniente a cómo pensamos quedará reflejada en la estructura de ese tiempo imaginario (que en concreto, no puede tener ni principio ni fin a manera de coeternidad), mientras que la estructura del tiempo real depende de la estructura del tiempo del mundo. Esta tradición considera que las características fundamentales de las sustancias son la *cantidad* y la *calidad*. Hay dos clases de cantidad: la cantidad continua o extensión y la cantidad discreta o número. Por su parte, la cantidad continua es de dos tipos: permanente y sucesiva; la extensión espacial pertenece al primero, la duración al segundo. El sitio de la teoría del tiempo es aquella parte de la filosofía de la naturaleza que versa sobre la cantidad continua sucesiva; aquí conviene recordar que la matemática, como ciencia reguladora, se resuelve en la cantidad como tal.

El tiempo físico asoma en el siglo XIV, en el Merton College de Oxford y luego en la Escuela de París, con Nicole de Oresme quien lo representa en una línea horizontal, mientras en la vertical se disponen las cualidades variables. La glosa de Oresme abarca la existencia del vacío y la pluralidad de mundos; esto lo conduce a desarrollar una tipología de la duración así como nociones de eternidad y perpetuidad. Para Oresme hay tres clases de duración. La primera se denomina tiempo y se refiere a la sucesión de los cambios de las cosas, “una parte que sucede a otra en el tiempo”. En la segunda clase de duración, también una parte sucede a otra en el tiempo, pero se refiere a cosas que, aunque son potencialmente cambiantes, se mantienen sin experimentar cambio “tal como pueden ser algunas cosas incorpóreas” (*aevum*). El evo es término medio entre la eternidad y el tiempo, es la duración de las cosas que en su ser no mudan, pero pueden mudar o mudan en sus operaciones. La tercera clase es la eternidad, que no consiste en una sucesión; no se refiere ni a cuerpos ni a entidades incorpóreas sujetas al cambio.

En suma, la eternidad es la duración interminable y simultánea y, así, no puede tener un antes ni un después; el tiempo es la duración sucesiva; el evo es, en cuanto al ser, duración simultánea e interminable pero no en cuanto a las operaciones, y aunque en sí no tiene antes ni después puede tenerlos adjuntos como *per accidens*. La distinción antes referida pertenece a la tradición neoplatónica, que distingue: *i*) la eternidad de Dios, *ii*) la pretemporalidad o eternidad de los seres vivos y *iii*) el tiempo del mundo (Velázquez, 1997).

2.3 Siglos XVI y XVII

La concepción del tiempo que hacen Galileo y Descartes se refiere a un continuo lineal: nos movemos uniformemente hacia adelante en la corriente del tiempo, a través de la “línea de tiempo”, y el presente, infinitamente pasajero, es como un punto que divide el pasado del futuro. Es un punto matemático que puede ser ubicado arbitrariamente para fines de cálculo de magnitudes físicas, aunque, en nuestra experiencia individual, viaja implacablemente hacia adelante. Galileo aclara el estado de confusión de la visión aristotélica sobre el tiempo, pues considera que el movimiento no es un proceso, ni el reposo un estado natural, sino que ambos son estados en igualdad de derecho en relación a un marco referencial, siendo el primero la norma y el segundo un estado excepcional. En este escenario, los eventos pueden ser descritos en términos de la posición de objetos tridimensionales en el espacio y en el tiempo (Trusted, 1991). Galileo se aproxima a la visión cartesiana al afirmar que:

Desde que concibo una materia o una sustancia corporal, me siento empujado por la necesidad de concebir al propio tiempo que está terminada y figurada por tal o cual figura, que en comparación con otras es grande o pequeña, que se encuentra en tal o cual lugar y tiempo, que se mueve o permanece inmóvil, que toca o no a otro cuerpo, que se encuentra en gran número o en número reducido; y por mucho que esfuerce mi imaginación no la puedo separar de esas condiciones. Pero que deba ser blanca o roja, amarga o dulce, sonora o muda, de olor agradable o desagradable, no siento que mi mente esté obligada a concebirla como necesariamente acompañada de esas propiedades. Así pues, si los sentidos no se vieran afectados, es posible que ni la imaginación ni la razón hubieran llegado jamás a ello. Por esto he llegado a pensar que estos sabores, olores, colores, etc., no son nada en el objeto (...)¹, no son sino puros nombres y únicamente tienen su existencia en el cuerpo sensitivo, de modo que si lo animal fuera suprimido, todas esas cualidades quedarían aniquiladas y destruidas (Koyré, 1985).

Lo que constituye la esencia del cuerpo, o de la materia, aquello sin lo cual no puede ser pensado, ni siquiera ser, son para Galileo y para Descartes sus propiedades matemáticas o idealizadas. El número, la figura, el movimiento: la aritmética, la geometría, la cinemática. El proyecto galileano no pretende construir un mundo abstracto, sino captar la esencia matemática del mundo real, móvil y, por consiguiente, temporal; lo que busca es el modo real, el modo que emplea la naturaleza. Galileo está convencido de que los problemas mecánicos sólo se deben discutir y resolver con ayuda de argumentos mecánicos y matemáticos (pues estaba plenamente convencido del rigor lógico y de las posibilidades argumentativas de la geometría), renunciando así a los argumentos de tipo cosmológico, religioso o metafísico; sustentándose más bien en la observación y en el experimento mental. Agrega Koyré que “Galileo no parte, como Descartes, de un mecanismo causal, a fin de traducirlo luego a una relación puramente geométrica (...) Galileo parte de la idea (...) de que las leyes de la naturaleza son leyes matemáticas. *Lo real encarna lo matemático*. Por eso no hay en Galileo separación entre la experiencia

¹ Es decir, que no tienen ninguna realidad objetiva, pues sólo existen subjetivamente en tanto son conocidas o percibidas.

y la teoría; la teoría, la fórmula, no se aplica a los fenómenos del exterior, no “salva” esos fenómenos, expresa su esencia (...) la naturaleza es el reino de la medida y del orden” (Koyré, 1985).

En suma, el movimiento es un fenómeno temporal, pues sucede en el tiempo. La esencia del movimiento acelerado se definirá en función del tiempo, y no en función del espacio recorrido, pues este no es más que una resultante, un accidente, un síntoma de una realidad primordialmente temporal.

Descartes considera al tiempo como un modo de pensar acerca de la duración:

tiempo (...) lo distinguimos de la duración, tomada en su sentido general, y que lo describe como la medida de movimiento, es sólo un modo de pensamiento; puesto que realmente no aprehendemos que la duración de las cosas que se mueven es diferente de la de las cosas que no se mueven, dado que es evidente desde el hecho de que si dos cuerpos se mueven por espacio de una hora, uno rápidamente, el otro lentamente, no medimos el tiempo más largo en un caso que en el otro, aunque hay mucho más movimiento en uno de los dos cuerpos que en el otro. Sólo con el fin de comprender la duración de todas las cosas bajo la misma medida, usualmente comparamos su duración con la duración del más grande y más regular de los movimientos, que son los que crean años y días, y a estos denominamos como tiempo.¹

2.4 Siglos XVII y XVIII

El carácter de tiempo absoluto en Newton tiene su antecedente más cercano en su mentor Isaac Barrow:

Pero el tiempo, ¿no supone el movimiento? (...) 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 ritmo regular. Imaginemos que todas las estrellas han estado quietas desde su nacimiento: para el tiempo nada se habría perdido; esta quietud habría durado tanto como ha durado el flujo de este movimiento.²

Para Barrow, espacio y tiempo existen con independencia de los cuerpos materiales o de los acontecimientos físicos, pero no independientemente de Dios. El tiempo no denota una experiencia actual, sino pura y llanamente una capacidad o posibilidad de existencia.

En el *Scholium* de sus *Principia*, Newton asume su postura respecto al tiempo, al afirmar que:

El tiempo absoluto, verdadero y matemático en sí y por su misma naturaleza fluye regularmente sin relación alguna a nada externo, y se le llama con otro nombre duración. (...) Pues los tiempos y los espacios son (...) lugares tanto de ellos

¹ time (...) we distinguish from duration taken in its general sense and which are described as the measure of movement. is only a mode of thinking; for we do not indeed apprehend that the duration of things which are moved is different from that of the things which are not moved, as is evident from the fact that if two bodies are moved for the space of an hour, the only quickly, the other slowly, we do not count the time longer in one case than in the other, although there is much more movement in one of the two bodies than in the other. But in order to comprehend the duration of all things under the same measure, we usually compare their duration with the duration of the greatest and most regular motions, which are those that create years and days, and these we term time (Descartes, R. *The essential Descartes*. Wilson, M. D. (ed.). New York, Meridian, New American Library, 1983. *Apud*. Trusted, 1991).

² Barrow, I. *The geometrical lectures of Isaac Barrow*. Trad. de J. M. Child. La Salle, Open Court, 1916. *Apud*. Van Fraassen, 1978.

mismos como de todas las otras cosas. Todas las cosas están colocadas en el tiempo en cuanto al orden de sucesión, y en el espacio en cuanto al orden de ubicación.¹

Espacio y tiempo son entidades infinitas y absolutas, que existen por derecho propio y son independientes de todo lo externo al objeto físico. La filosofía de Newton es una conjunción de física, metafísica y teología en casi una misma ciencia que demandaba lo inequívoco de los términos teológicos no menos que la de los términos físicos. Respecto a Dios, a sus manifestaciones, al espacio y al tiempo, no sabemos su naturaleza, pero percibimos sus acciones. Para Newton, espacio y tiempo son siempre iguales a sí mismos, es decir, desprovistos de diferenciación cualitativa en sus segmentos. Aquello que es siempre igual a sí mismo es uno en todos los aspectos. Dado que son homogéneos en todos los aspectos, la naturaleza también puede ser homogénea; las mismas fuerzas pueden actuar donde sea del mismo modo, las mismas leyes de la naturaleza pueden ser válidas donde sea y es en ese sentido que son universales. La “analogía de la naturaleza” es posible debido a su homogeneidad. Espacio y tiempo son absolutos, y es en ese sentido que habilitan una causalidad inequívoca. Newton sólo afirma lo absoluto del tiempo sin argumentar al respecto, pero es claro por qué lo necesita. Si la relación temporal de dos eventos fuera relativa, también lo sería la relación causa-efecto. Como para el espacio, Newton reconoce que sin un sistema preferencial inerte, no habría forma de identificar un cambio en el movimiento o en la dirección (aceleración). Espacio y tiempo absolutos, junto con Dios, son las condiciones previas para la acción.

Newton trató de modo más secular su exposición de los eventos físicos, basando sus asunciones metafísicas en afinidad con un Dios más misterioso en comparación con el garante de perfecta uniformidad requerido por Descartes y con el poseedor de racionalidad intelectual infinita postulado por Leibniz. Espacio y tiempo absolutos eran aspectos de Dios, a quien concernían directamente las fuerzas y las leyes causales de la naturaleza. Este Dios no se desprendía de su creación, el espacio es una manifestación de la divinidad que Newton llamó *sensorio de Dios* y no *cerebro de Dios* puesto que se concebía a Dios como incorpóreo. En esta concepción Dios es esencialmente inmanente al espacio y está involucrado con su creación. Espacio y tiempo son predicados explicativos de la omnipresencia y eternidad de Dios, dado que estos atributos tenían que ser entendidos literal e inequívocamente. La relación entre Dios y las entidades en el espacio (criaturas) es análoga a aquella entre el sujeto sensible

¹ Newton, I. *Isaac's Newton Philosophia Naturalis Principia Mathematica*, 2 vols. Koyré, A., y Cohen, I. B. (eds.). Cambridge, Cambridge University Press, 1972.

y sus sensaciones. “(Pero) mientras que nuestras sensaciones (...) se registran en nuestros sentidos (...) desde su exterior; este no es el caso con el sensorio de Dios. Respecto a Dios, “afuera” y “adentro” del sensorio no pueden ser vistos como dos lugares: son uno y el mismo espacio. El espacio es a la vez el lugar de los objetos y el lugar de la intuición de Dios respecto a estos objetos” (Funkenstein, 1986). Newton usó las diferentes propiedades del espacio y del tiempo para mostrar cómo Dios está en las cosas por “esencia, potencia y conocimiento” (Funkenstein, 1986).

Por otra parte, de la Teoría de las Relaciones se sabe que cada relación asimétrica, conectiva y transitiva establece un orden al interior de una serie. La relación *antes que* se considera de la misma clase que la relación *menor que* y no carece de sentido como ocurre con la relación *a la izquierda de*. La relación *antes que* difiere estructuralmente de su inversa, la relación *después que*.

Leibniz usa su principio metafísico de *razón suficiente* para mostrar que no hay tiempo absoluto:

Supóngase que alguien pregunta por qué Dios no creó todo un año más temprano; y que la misma persona quiere inferir de eso que Dios hizo algo para lo cual posiblemente no puede haber una razón por la cual lo hizo así más bien que de otra manera, deberíamos responder que está inferencia sería válida si el tiempo fuera algo aparte de las cosas temporales, ya que sería imposible que hubiera razones por las cuales las cosas debieran aplicarse a ciertos instantes en lugar de a otros, cuando su sucesión permaneciera igual. Pero esto por sí mismo prueba que los instantes separados de las cosas no son nada, y que aquellos sólo consisten en el orden sucesivo de las cosas (Alexander, 1956)¹.

En este sentido el tiempo cósmico, considerado como tiempo absoluto, tiene que conducir necesariamente a la destrucción de la racionalidad del mundo, entendida como pérdida de la posibilidad de justificar su acto fundacional. Por eso se puede admitir al tiempo, exclusivamente, como una forma o disposición del espíritu para ordenar las cosas que se excluyen en el espacio.

Leibniz ve en el tiempo el orden al que se ajustan los fenómenos, la ley del cambio de los estados, la ley de la mutación. No reconoce el tiempo como esencia aparte y no lo identifica con la eternidad ni con la duración, pues es el flujo permanente de las ideas, y no el movimiento, el que nos da la idea de duración. El instante es aquella parte de la duración en la que no observamos ningún cambio de ideas. El deseo de Leibniz de encontrar una salida al “laberinto de lo continuo” lo llevó en sus *Philosophische Schriften* a la concepción del tiempo como ordenación de los fenómenos. Respecto a la causalidad, la reducción de todo acaecer a procesos mecánicos venía siendo equivalente, desde Descartes, a la

¹ Suppose someone asks why God did not create everything a year sooner; and that same person wants to infer from that that God did something for which there cannot possibly be a reason why he did it thus rather than otherwise. We should reply that this inference would be sound if time were something apart from temporal things, for it would be impossible that there should be reasons why things should have been applied to certain instants rather than to others, when their succession remained the same. But this in itself proves that instants apart from things are nothing, and that they only consist in the successive order of things.

reducción de toda acción a *procesos de impulso*. El problema de la comunicación del movimiento en el choque de dos masas formaba ahora el meollo del problema general de la causa. Es así que Leibniz postula el principio de la conservación de la *energía viva*; tomando así forma las dudas y los ataques de Hume contra la vigencia racional del concepto de causa.

Leibniz, en oposición a la teoría absolutista del tiempo de Newton, pensó que algo que puede acontecer antes de la creación se puede explicar de dos maneras: *i)* concebir que al acontecimiento *X*, que es el primer acontecimiento, le precede otro acontecimiento, o bien *ii)* concebir un mundo alternativo en el cual *X* (que en este mundo es el primer acontecimiento) no es el primer acontecimiento. Esto da un sentido claro a nuestro convencimiento de que podemos concebir que algo suceda antes de la creación. Cuando imaginamos esta posibilidad, estamos imaginando un mundo posible alternativo: uno de esos mundos posibles que resultan que no son el mundo real (Van Fraassen, 1978). Ya lo dice Leibniz en sus *Opúsculos*: “Lo existente puede ser definido como aquello que es compatible con más cosas que cualquier otra cosa que sea incompatible con él. (...) lo existente es el ser que es compatible con la mayoría de las cosas, o el ser más posible, de modo que todas las cosas coexistentes son igualmente posibles” (Russell, 1958).

Posteriormente, Kant considera que “(l)a experiencia sólo es posible mediante la representación de una necesaria conexión de las percepciones”;¹ el tiempo es una forma subjetiva de la intuición sensible, es condición previa intuitiva de la experiencia, la cual a su vez constituye el mundo. La experiencia es un conocimiento determinado por un objeto mediante percepciones, es la unidad sintética de la diversidad de la percepción en una conciencia. Sin esta unidad no hay en absoluto conocimiento de objetos de los sentidos y, consiguientemente, tampoco hay experiencia. Esta síntesis de percepciones ocurre en el tiempo, pues este es la forma necesaria del sentido interno que acompaña a todo acto de conciencia. El tiempo no proviene de la experiencia, pues esta nos entrega únicamente lo discontinuo: aquellas condiciones sólo provendrían de formas *a priori* que “espacializan” y “temporalizan” el contenido de la experiencia. La idea abstracta de tiempo no se corresponde con nada objetivo. La duración, en cuanto a su continuidad, no es una propiedad real de las cosas en sí, sino que resulta de formas subjetivas, en las cuales el sujeto moldea lo real inaccesible en sí (noumeno); por lo que lo real conocido (fenómeno) se debe a la estructuración o constitución que impone el sujeto. El conocimiento tiene lugar mediante una interacción entre la realidad física y la mente humana, la cual impone formas específicas a las entidades

¹ Kant, I. *Crítica de la razón pura*. Trad. de Ribas, P. Madrid, Alfaguara. *Apud* Kant. 1993.

físicas con tal de hacerlas inteligibles y accesibles bajo cierto grado de orden. Tales formas son el espacio y el tiempo a manera de intuiciones. Son espacio y tiempo los que determinan el modo como percibimos las cosas al imponer condiciones sobre nuestra percepción; pero no tienen significado para las cosas fuera de su relación con el sujeto epistémico. Es en este sentido que Kant está de acuerdo con Parménides para quien el flujo del tiempo o cambio no es una propiedad del ser.

La experiencia, dice Kant, sólo es posible mediante la representación de una necesaria conexión o constitución de las percepciones. La síntesis de percepciones ocurre en el tiempo, que es la forma necesaria del sentido interno que acompaña a todo acto de conciencia: el tiempo es la forma en que experimentamos el ser. El tiempo kantiano no es una entidad absoluta en donde la experiencia señala inmediatamente su lugar a cada existencia; por el contrario, debe pensarse la relación de las existencias con el tiempo como rigurosamente dinámica, es decir, que es la regla del entendimiento la que, como único medio, posibilita la existencia de los fenómenos para adquirir unidad sintética desde el punto de vista temporal y la que ubica a cada fenómeno en el tiempo. Para un neokantiano como Cassirer, "(l)a conciencia ya no integra el todo del tiempo como un todo sustancial a partir de los momentos individuales, sino lo aprehende como un todo funcional y dinámico, como una unidad de relación y de causalidad".

Kant llama *analogías de la experiencia* a los principios de determinación de la existencia según tres modos del tiempo, a manera de categorías relacionales: *duración, sucesión y simultaneidad*. La idea de analogía está en conexión íntima con la noción matemática de proporción. De la analogía no surgirá el modo en que se produce la percepción, en tanto que intuición empírica, sino que proporcionará la regla con la cual, a partir de las percepciones, surge la unidad de la experiencia. Kant ve en los tres principios sintéticos de sustancia, causalidad e interacción las condiciones y fundamentos para establecer las tres diferentes relaciones temporales posibles, constituyendo así la duración o permanencia, la sucesión y la simultaneidad. Al final, el concepto puro de relación temporal puede ser considerado como concepto ordenador abstracto.

Primera analogía

Principio de la permanencia (de la sustancia). "Todos los fenómenos contienen lo permanente (sustancia) como el objeto mismo y lo mudable como mera determinación suya, es decir, como un modo según el cual existe el objeto. (Kant, 1993

(1781) (...) En todo cambio de los fenómenos permanece la sustancia, y el quantum de la misma no aumenta ni disminuye en la naturaleza” (Kant, 1993 (1788)).

Todos los fenómenos se dan en el tiempo, y sólo en él podemos representarnos la duración, la simultaneidad y la sucesión. No es el tiempo el que “pasa” sino que los fenómenos “pasan” en él. El sustrato que representa al tiempo como elemento de comparación es la sustancia del fenómeno, lo real del fenómeno. Pero si lo real del fenómeno no cambia, entonces, ni aumenta ni disminuye: nada puede surgir de la nada, ni volverse nada desde el ámbito de la experiencia posible:

(El) elemento permanente que hay en los fenómenos constituye el sustrato de toda relación de tiempo y, consiguientemente, la condición de posibilidad de toda unidad sintética de las percepciones, es decir, de la experiencia. Desde tal elemento permanente hay que considerar toda existencia y todo cambio en el tiempo como un simple modo de la existencia de aquello que dura y permanece. Lo permanente es, pues, en todos los fenómenos el objeto mismo, es decir, la sustancia (como fenómeno), mientras que todo lo que cambia o puede cambiar pertenece únicamente al modo según el cual esa sustancia o esas sustancias existen y, consiguientemente, a sus determinaciones.¹

Todos los cambios en los fenómenos son cambios en lo que existe, pues la existencia es el ser en el tiempo, de donde cambio sería equivalente a fenómeno. El concepto de cambio supone un sustrato que permanece mientras se alteran sus accidentes. Lo que queda de una cosa cuando la despojamos de sus accidentes o propiedades es un concepto, un instrumento del entendimiento que expresa la relación necesaria entre sus propiedades.

Segunda analogía

Principio de la producción. “Todo lo que sucede (empieza a ser) presupone algo a lo cual sigue de acuerdo con una regla” (Kant, 1993 (1781)).

Principio de la sucesión temporal según la ley de causalidad. “Todos los cambios tienen lugar de acuerdo con la ley que enlaza causa y efecto” (Kant, 1993 (1788)).

Para Kant nuestras experiencias se dan en sucesión y respecto a ellas se formulan juicios empíricos o de existencia que algunas veces hacen referencia a la coexistencia objetiva y otras a una secuencia objetiva (eventos para los cuales no es lo mismo el “antes” que el “después”). Dadas un par de percepciones A y B , una a continuación de la otra en el orden temporal $t_A - t_B$; si es factible obtener percepciones A' y B' , idénticas con A y B respectivamente, en el orden temporal $t_A - t_B$, diremos que A y B son objetivamente coexistentes o que estamos ante dos escorzos o representaciones de un mismo

¹ *Idem.*

objeto. Si consideramos que el orden de las percepciones es irreversible, i.e., si *A* sólo puede preceder a *B*, y no seguirla, diremos que *A* y *B* son percepciones de eventos objetivamente sucesivos.

El universo material u orden de las coexistencias, sólo es perceptible como un sistema material continuo en el seno del cual prosigue sin pausas el conjunto de acciones y reacciones mecánicas. La serie de percepciones de cualquier acontecer está regulada; habrá un orden fijado de antemano, una regla que obliga a iniciar la aprehensión en un punto, con el fin de enlazar la multiplicidad empírica: el orden de las percepciones en la aprehensión del fenómeno se vuelve necesario. La sucesión objetiva del acontecer es la que determina o implica la sucesión subjetiva de la aprehensión. En el orden de la percepción hay algo antes y algo después, que constituye el juicio empírico en el que se piensa la secuencia como determinada. Es esta la relación de los fenómenos en la cual lo que acontece se encuentra determinado por algún evento anterior según la regla de causa-efecto.

Kant considera que conocemos *a priori* ciertas propiedades formales del tiempo como su continuidad y anisotropía, pero que no podemos conocerlas a partir de la percepción misma del tiempo pues este es imperceptible: “sólo en los fenómenos podemos captar empíricamente esta continuidad en la conexión de los tiempos”. Son los propios fenómenos los que deben determinar la posición temporal que guardan entre sí y hacerla necesaria; en lo que precede está siempre la condición de lo que se sigue. Cabe aclarar que el principio de que todo acontecer está causalmente determinado por un evento anterior no es resultado de la “conjunción constante”, meramente empírica e inductiva, de eventos, como pretendía Hume, sino de una conexión necesaria que imponemos sobre la experiencia.

Para el kantismo, los conceptos *a priori* de sustancia y de causa tendrán en la filosofía de la naturaleza sus correspondientes correlatos empíricos mediante los conceptos de materia y fuerza, de modo que las únicas causas que podemos conocer se traducen en movimientos materiales o causas mecánicas mediadas por las fuerzas impresas sobre los objetos materiales.

Tercera analogía

Principio de la comunidad. “Todas las sustancias se hallan, en la medida en que sean simultáneas, en completa comunidad (es decir, en acción recíproca)” (Kant, 1993 (1781)).

Principio de la simultaneidad según la ley de acción recíproca o comunidad. “Todas las sustancias, en la medida en que podamos percibir las como simultáneas en el espacio, se hallan en completa acción recíproca” (Kant, 1993 (1788)).

Dos eventos son simultáneos cuando existen en el mismo tiempo. Esa simultaneidad se verifica si es posible invertir el orden en la síntesis de las aprehensiones. Del lado de la causalidad, una causa no tiene por qué ser inmediata. La influencia mutua sólo puede cumplirse de modo continuo y en un medio pleno. Debido a la ley de acción recíproca se rechaza el espacio vacío entre las sustancias, entendidas como fenómenos, dado que las percepciones se presentan siempre *continuamente*; si en la transición de una percepción a otra correspondiera a alguna un instante en el espacio vacío, se interrumpiría la cadena causal sin poder distinguirse si el fenómeno es objetivamente sucesivo o simultáneo. “Tiene que haber algo, aparte de la simple existencia, mediante lo cual *A* determina a *B* su lugar en el tiempo, y a la inversa, ya que sólo bajo esta condición podemos representarnos dichas sustancias como *existiendo simultáneamente*. (...) es necesario que todas las sustancias en la esfera del fenómeno se hallen entre sí, en la medida en que son simultáneas, en una completa comunidad de interacción recíproca”.¹

Más aún, la imperturbable mónada de Leibniz, limitada tan sólo a sus propios contenidos y eximida de toda interacción con las demás, no podrá dar cuenta de la simultaneidad de otras sustancias sin apelar a una dogmática y divina armonía preestablecida o a la falta de un sistema de referencia preferencial o, aún más, a la imposibilidad de la transmisión instantánea de la información de un punto a otro del espacio.

Estas tres analogías de la experiencia constituyen los principios de la existencia de los fenómenos en el tiempo de acuerdo con sus tres modos: la *duración* o relación con el tiempo como magnitud de la existencia; la *sucesión* como relación de la existencia en el tiempo como acontecer y la *simultaneidad* como relación de la existencia en el tiempo con todo lo que existe. El tiempo aparece como un medio de ordenamiento que, en sí mismo, no detenta un rango absoluto en donde la experiencia señala inmediatamente su lugar a cada existencia. La relación de las existencias con el tiempo es dinámica en el sentido de que es la regla del entendimiento la que posibilita la existencia fenoménica para adquirir una unidad sintética de manera temporal, ubicando a cada fenómeno en el tiempo (Kant, 1993 (1788)). “Todos los fenómenos se hallan en una naturaleza y tienen que hallarse en ella, pues, de no existir tal

¹ *Idem.*

unidad *a priori*, no habría unidad de experiencia y, consiguientemente, no sería posible determinar los objetos en esa experiencia”.¹

Kant trata de preservar la idea de Newton de que espacio y tiempo no son reducibles a meras relaciones entre las cosas. Para Kant espacio y tiempo no sólo son absolutos en el sentido de que preceden la noción de las cosas fuera de nosotros y son presupuestos por estas, sino que resulta que ninguno de los dos son conceptos, pues éstos se adquieren “discursivamente”, en cambio las intuiciones son inmediatas. Los conceptos son impuestos en la experiencia mediante una concatenación o acoplamiento, por un acto sintético del entendimiento; mientras que las intuiciones están “dadas” (*gegeben*), lo mismo para espacio y tiempo, como “formas puras de la intuición”. Espacio y tiempo pertenecen a la inventiva pasiva de la mente. Esta distinción entre los conceptos y las intuiciones encaja sólidamente en el centro de la controversia Clarke-Leibniz. Cuando Leibniz decía que no hay nada más en espacio y tiempo sino la noción de las diferencias entre las cosas, probablemente se refería a lo siguiente. Considérese un mundo posible (U) con tres “cosas” (a, b, c) en él y con tres propiedades (F_1, F_2, F_3). Además asúmase que una “cosa” debe tener al menos una propiedad, y que (a) tiene todas ellas, (b) las primeras dos, y (c) sólo la primera. Este es el único contenido de la expresión espacial que sitúa a (a) y (b) más cercanos uno del otro que con respecto a (c) y también equidistantes a (c). En un mundo con más propiedades y más cosas, el mapeo podría tornarse tridimensional.

¹ *Idem.*

3.0 La imagen científica del tiempo

En física clásica la causalidad suele tomarse como sinónimo de determinismo, o se refiere al límite relativista para la propagación de información o cualquier influencia dinámica. En filosofía de la ciencia puede indicar la existencia de leyes de la naturaleza con pretensiones de universalidad. Para la fenomenología de la física teórica, el determinismo dinámico es usualmente entendido asimétricamente en la dirección positiva temporal: “hacia adelante” en el tiempo. En el determinismo se piensa a los estados objetivos o configuraciones con la capacidad de mapear una única representación de todos los posibles estados de los sistemas físicos. Las leyes de la naturaleza, focalizadas en su sentido dinámico, describen la dependencia o evolución temporal de los estados físicos, de un modo general, típicamente con ecuaciones diferenciales. Tales leyes son llamadas deterministas si únicamente determinan el estado del sistema físico al tiempo t a partir de cualquier tiempo anterior o posterior bajo condiciones iniciales o finales apropiadas. La estructura simétrico-causal del determinismo dinámico es más fuerte, dado su carácter más restrictivo, que el tradicional concepto de causalidad, que requiere que cada evento en la naturaleza posea una causa específica (en su pasado), mientras que no necesariamente un efecto (en su futuro).

Hacking propone que nuestra idea actual de determinismo existía antes con otro nombre, por ejemplo “necesidad”, a la par de consideraciones antagónicas como la de Émile Boutroux (*De la contingence des Lois de la nature*, 1905). Se pueden distinguir dos doctrinas en torno al determinismo. Una es la doctrina según la cual la elección entre diferentes tipos de acción puede explicarse plenamente en todos los casos por condiciones psicológicas o subjetivas. La otra es la doctrina según la cual todo cuanto ocurre, está dado necesariamente por una cadena de causalidad. La distinción entre la idea de determinismo en la sustancia extensa y la idea del determinismo o predeterminismo en el espíritu (praedeterminismus: nuestras decisiones están predeterminadas por nuestros motivos, deseos y creencias) es concebida como una diferencia entre “la relación entre motivo y acción y la relación de causa y efecto”. Múltiples desarrollos de la física moderna no se refieren directamente al problema del tiempo, sino al de la causalidad. La concepción mecánico-determinista del tiempo excluye cualquier fundamentación referente al sujeto, en tanto que está definida en términos de movimientos objetivos.

Las leyes de movimiento de Newton operan bajo el supuesto de que una vez que se especifican las fuerzas que actúan sobre una determinada partícula, y una vez que se conocen las condiciones iniciales, el movimiento subsiguiente estará determinado de forma unívoca. La unicidad de la evolución de un sistema mecánico se extiende a un conjunto de partículas que actúan unas sobre otras con distintas fuerzas. Dado el estado del sistema en un determinado momento, estará unívocamente determinado el estado de todos los momentos futuros y todos los pasados. La formulación crítica del determinismo de Laplace contempla que:

Debemos (...) considerar el estado presente del universo, como el efecto de su estado anterior y como la causa del que debe seguirlo. Una inteligencia que en un instante dado conociera todas las fuerzas que animan a la naturaleza y la situación respectiva de todos los seres que la componen, y que, por otra parte, fuera suficientemente apta para someter estos datos al análisis, abarcaría en la misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los de los átomos más ligeros; nada le sería incierto, y tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante ella.¹

Suponer la existencia de esta máquina determinista representa una postura no realista acerca del flujo del tiempo. La supuesta estructura causal constitutiva del mundo físico podría extenderse desde la infinitud negativa del tiempo hasta la infinitud positiva. En este esquema, como los estados presentes del universo determinan por completo los estados futuros, en cierto sentido el futuro ya se encuentra contenido en el presente, y nunca sucede nada genuinamente nuevo ni inesperado (Davies, 1993). Todo acontecimiento está fijado de una vez y para siempre; en tal caso, la mente humana aparecería como un mero espectador que observa pasivamente esta estructura desde un punto u origen privilegiado, el presente, que se desliza sin ser una etapa del devenir y donde “Dios queda reducido al papel de un simple archivero que va pasando las páginas de un libro de historia del cosmos que ya está escrito” (Prigogine, 1980). La máquina “preprogramada” se limita a seguir ciegamente su camino a lo largo de un sendero de cambio fijado de antemano. De aquí surge el dilema del determinismo o la libertad. En este planteamiento no puede haber flujo del tiempo si tanto el futuro como el pasado pudiesen estar presentes ante los ojos de un ser superior, rol que es jugado en el determinismo clásico por el sujeto epistémico mismo que pretende substraerse del mundo, como si no formase parte de él en su percepción y descripción del mundo. Para salvar la libertad de acción, Kant propone intercambiar la realidad del flujo del tiempo por la libertad de la voluntad.

Lo que se abre paso a través de la idea de cambio es la percepción de una causalidad. Se puede plantear una noción de causalidad científica en oposición a la de causalidad metafísica. La primera, que se

¹ Laplace, P. S. *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*. Buenos Aires-México, Espasa-Calpe, 1947. *Apud*. Davies, 1993.

expresa en leyes físicas, significa esencialmente relación constante entre fenómenos; la segunda, causalidad en sentido propio, expresa una relación de necesidad. Para el determinismo causal, el devenir no existe (Hacking, 1995). El mismo Hacking evoca el siguiente discurso:

Leipzig, 14 de agosto de 1872. Un espíritu que conociera durante un brevísimos periodo de tiempo, la posición, la dirección y la velocidad de todos los átomos del universo sería capaz (...), en virtud de un apropiado tratamiento de su fórmula del mundo, de decirnos quién fue la Máscara de Hierro o de qué manera fracasó el "Presidente". Así como el astrónomo predice el día en que, después de muchos años, un cometa vuelve a aparecer en la bóveda del cielo desde las profundidades del espacio, así también esa "mente" podría leer en sus ecuaciones el día en que resplandezca de nuevo la cruz griega en la mezquita de Sofía o cuándo Inglaterra habrá de quemar su último trozo de carbón (Discurso de Emil Du Bois-Reymond pronunciado en la reunión anual de la *Versammlung Deutscher Naturforscher und Aertze*. *Apud* Hacking, 1995).

Un año después del discurso referido arriba J.C. Maxwell pronuncia, en la misma línea, la conferencia intitulada: "*¿Tiende el progreso de la ciencia física a dar alguna ventaja a la opinión de la necesidad (o determinismo) sobre la opinión de la contingencia de los sucesos y la libertad de la voluntad?*". Para 1867 Maxwell había ideado un experimento mental "paradójico" conocido como el "demonio de Maxwell", que muestra que tampoco el desorden es una propiedad intrínseca de los objetos, sino una falta de información respecto a sus estados, de modo que poseyendo la información oportuna podríamos invertir la flecha entrópica. El "demonio de Maxwell" es en cierta manera descendiente del "demonio de Laplace"; estos vástagos son menos omniscientes, pero no por ello menos capaces, pues pueden invertir el sentido natural en que suceden los fenómenos. Ni la entropía ni la irreversibilidad son conceptos absolutos pues dependen de nuestro conocimiento de los sistemas y del refinamiento de nuestras descripciones, esto en el entendido de que las ecuaciones fundamentales de la física, más que decir lo que sucede en la naturaleza, reflejan nuestras creencias, suposiciones e idealizaciones sobre ella. El neokantiano Renouvier da un paso positivista al afirmar que así como las causas finales quedaron eliminadas de la ciencia, ahora hemos llegado al estado de eliminar las causas eficientes y con ellas la idea del determinismo universal; postura que es criticable desde la termodinámica de procesos irreversibles y por las teorías de transición de fase, dotadas de alto sustento experimental.

Por su parte, Carnap considera que la validez de la causalidad en el sentido de la física significa que el mundo físico está gobernado por leyes deterministas, y que todos los procesos están unívocamente determinados, si su totalidad en un reducido y arbitrario intervalo temporal es fija. La causalidad, concebida como una relación activa, es una ficción en el nivel de la experiencia de primer nivel, que está caracterizada por lo inmediatamente dado en su ordenamiento original (experiencia no conceptualizada). La experiencia sensible posee necesariamente cierto ordenamiento espacial y

temporal, además de relaciones cualitativas de igualdad y desigualdad que pueden llegar a ser graduales. Son definidas así clases relacionales al indicar bajo qué condiciones dos objetos pertenecientes al mismo dominio son considerados idénticos y al estipular las relaciones de vecindad que sostienen los elementos de tales clases. Carnap considera que en el dominio de las impresiones sensoriales existen tres tipos de relaciones de vecindad: propiedades espaciales, temporales o de otros tipos o cualidades.

Agrupar conjuntamente a ciertos elementos de la experiencia como “cosas” con “propiedades” y coordinar ciertos elementos con otros como sus causas, no conlleva necesidad alguna, sino que es un acto de libre elección. Derivado de esta libertad conceptual, queda constituido un mundo de segundo nivel dotado de una ontología múltiple proveniente de un tratamiento ordinario o bien físico de las cosas y sus propiedades. La construcción de un segundo mundo mediante el uso de una ficción sistematizada o “mundo físico”, conlleva a la construcción de la “actualidad”. Tal reformulación física del mundo incluye la opción de conceptualizar sobre magnitudes espaciales y temporales junto con otras magnitudes de estado con carácter no sensible. Tales determinaciones poseen una naturaleza numérico-relacional y no pueden ser identificadas con nociones como espacialidad, temporalidad u otras cualidades sensibles. La física se puede desmarcar de preguntas metafísicas sobre el origen de la experiencia, para concentrarse en la consideración de las propiedades de tal experiencia dotada de contenido cognitivo.

3.1 Tiempo físico y flechas temporales

Dado su carácter determinista, todas las formulaciones de las leyes fundamentales de la naturaleza conocidas son simétricas bajo inversión del tiempo después de ser compensadas mediante una transformación de simetría \mathcal{T} apropiada. Esto significa que para cualquier trayectoria $z(t)$ que sea una solución de las leyes dinámicas, existe una solución z_T para un tiempo invertido, donde z_T es el estado de tiempo invertido para z , obtenido mediante la aplicación de la transformación de simetría compensatoria. Por lo general, una trayectoria individual $z(t)$ no es simétrica bajo inversión temporal, es decir, no es idéntica con $z_T(-t)$. Si $z(t)$ es suficientemente complejo, la probabilidad de que ocurra el proceso de inversión temporal es muy baja. Sin embargo, la mayoría de los fenómenos observados en la naturaleza violan la simetría del tiempo reversible de un modo menos trivial si son considerados

como pertenecientes a clases completas de fenómenos, dado que los miembros de cierta clase son de algún modo abundantes, mientras que la clase de los fenómenos reversibles en el tiempo no está presente del todo. Tales violaciones de simetría suelen referirse como “facti-formes” [fact-like]. Esta apariencia asimétrica de la naturaleza no puede ser explicada mediante argumentos estadísticos. Si las leyes son invariantes ante un tiempo reversible cuando son compensadas por otra transformación de simetría, debe haber precisamente tantas soluciones para el caso de tiempo reversible como para el original.

Paradigmáticamente se considera una clase de fenómenos canónicos que caracterizan una dirección del tiempo, son estas las llamadas *flechas del tiempo* a manera de referenciales fenoménicos (Zeh, 1999). Es importante hacer notar que tales flechas cuentan con distintos alcances explicativos respecto a la asimetría temporal. Las flechas más importantes son:

- 1) *Radiación*. Es común encontrar emisión “espontánea”, sin radiación entrante alguna; mientras que la absorción en ausencia de radiación saliente es probabilísticamente difícil de encontrar. Incluso un absorbente o receptor idealizado conlleva consecuencias de retardamiento en los correspondientes campos del sistema físico. Se considera que todos los campos existentes son retardados en el sentido de que poseen una fuente adelantada que hace las veces de causa en el pasado.
- 2) *Termodinámica*. En física clásica, la Segunda Ley de la Termodinámica es típicamente considerada como la base física de la naturaleza histórica del mundo. Su interpretación estadística significaría que esta *estructura del tiempo* (manifiesta por su aparente dirección) es consecuencia de los hechos contingentes que caracterizan el mundo actual. Por ejemplo, uno debería ser capaz de explicar en términos termodinámicos por qué hay *observaciones*, pero no *in-observaciones* donde inicialmente la información presente (memoria acerca del futuro) desaparece mediante una interacción controlada entre el observador y el sistema observado: “La entropía es algo irreal, espiritual, pero que domina al mundo”.¹ Esta flecha del tiempo es ciertamente la más importante de todas. Debido a su aplicabilidad al fenómeno de la memoria humana y a otros procesos fisiológicos, puede considerarse como responsable de la impresión de que el tiempo en sí mismo posea una dirección

¹ Thirring, W. “Boltzmann legacy in the thinking of modern physics”, conferencia pronunciada en Viena en el 150 aniversario del nacimiento de Boltzmann, Preprint ESI 83, 1994. *Apud.* Galindo Tixaine, 1995.

(emparentada con el aparente *flujo del tiempo*); esto hace a la fisiología deudora de la segunda ley de la termodinámica. Si se pretendiera que un observador violara las leyes de la termodinámica, entonces sus manipulaciones experimentales podrían derivar en la flecha termodinámica del tiempo que es observada. El concepto de información accesible surge como aspecto fundamental de la termodinámica, destacando en este rubro los fenómenos asociados a la complejidad, la emergencia y la auto-organización de la materia.

- 3) *Evolución*. En los sistemas físicos, el “orden” es representado por ciertos estados de baja entropía. La auto-organización dinámica de la materia, como se observa en biología o en la evolución social (sistemas complejos, sistemas disipativos¹, etcétera), parece contradecir la Segunda Ley de la Termodinámica, conduciendo al “desorden” o al “caos”. Es en este contexto que se debe considerar la disminución de la entropía de manera *local*, sin entrar en conflicto con el incremento *global* de la entropía previsto por la Segunda Ley; evidentemente esto no explica la evolución observada en los sistemas mencionados.
- 4) *Mediciones en mecánica cuántica*. La interpretación probabilística de la mecánica cuántica es usualmente entendida como una indeterminación fundamental respecto al futuro. Su interpretación y relación con el determinismo simétrico de la ecuación de Schrödinger, constituye un problema abierto para la física moderna, que algunas veces es abordado mediante el “colapso” de la función de onda, en particular durante el proceso de medición (Escuela de Copenhague). Sin este colapso, las interacciones de la mecánica cuántica conducirían a un creciente enmarañamiento o enredo (no localidad o no separabilidad cuántica). En la formulación estándar de la mecánica cuántica, los estados inicial y final para una predicción están asimétricamente dispuestos en las leyes cuánticas. En una medición, el estado más reciente sustituye al más viejo, que colapsa, y no al revés. El indeterminismo observado en los fenómenos cuánticos ha sido interpretado como evidencia de una dirección temporal fundamental capaz de caracterizar las observaciones de modo genérico. En esta dirección se encuentra la observación idealista de Heisenberg: “la trayectoria de una partícula sólo se crea por nuestra acción de observarla”.²

¹ El sistema absorbe más energía del mundo externo de la que suministra. Un sistema disipativo se caracteriza por la aparición espontánea de una ruptura de simetría (anisotropía) y por la formación de estructuras complejas, a veces caóticas, donde las partículas interactuantes muestran correlaciones de alto rango. Sistemas globales o sistemas biológicos simples contravienen el principio de conservación de la energía al incrementar la complejidad de sus estructuras a lo largo del tiempo. Un sistema disipativo no es un sistema cerrado o aislado, sino que se encuentra contenido en un ambiente o sistema de orden mayor susceptible de interactuar con él; en tales sistemas la energía es disipada lo que implica una pérdida de información.

² “a particle trajectory is only created by our action of observing it” (Zeh, 1999).

- 5) *Decaimiento exponencial*. Los estados inestables (en particular los modos de “resonancia” de las partículas elementales de la teoría cuántica) usualmente se desvanecen exponencialmente a lo largo del tiempo, mientras que el crecimiento exponencial sólo es observado en situaciones de auto-organización.
- 6) *Gravedad*. Esta fuerza parece obligar o “forzar” a la materia a contraerse. Sin embargo este es otro prejuicio acerca de la acción causal de las fuerzas. En Astrofísica se considera que la gravedad conduce a una aceleración de contracción (o desaceleración de expansión) en ambas direcciones del tiempo, debido a que la aceleración está dada por una derivada de segundo orden. La contracción usual de los sistemas gravitatorios complejos (por ejemplo, galaxias o estrellas) en contra de su presión interna, está controlada por fenómenos termodinámicos y de radiación, estando caracterizados por una capacidad calorífica negativa, y clásicamente por su capacidad de contracción sin límite alguno en concordancia con la Segunda Ley de la Termodinámica. En relatividad general esto conduce a la ocurrencia de horizontes de futuro, dirigidos temporalmente, a través de los cuales los objetos pueden desaparecer. La discusión sobre campos cuánticos en presencia de agujeros negros ha conducido a la conclusión de que los horizontes deben poseer propiedades termodinámicas fundamentales (temperatura y entropía). Esto es notable ya que los horizontes pueden caracterizar el espacio-tiempo físico. Se piensa, por otro lado, que la expansión contraria a la gravedad es llevada a cabo por el universo en su conjunto. Dado que esto representa un único proceso, la expansión cósmica no define una clase de fenómenos. Por estas y por otras razones, la gravedad es usualmente tratada como la flecha dominante de la cual pueden derivarse las otras flechas del tiempo.

Las flechas de tiempo listadas arriba describen una asimetría en la historia del mundo físico, considerado este como una unidad [block universe view], para una formalización del tiempo reversible. La historia de un universo sin tiempo sería equivalente a un “montón” desordenado de estados que sólo podrían ser ordenados en el entendimiento mediante las relaciones de sus estructuras intrínsecas. Opuesta a esta postura está la consideración de un universo que evoluciona o se desenvuelve (según el concepto de flujo temporal). La asimetría de la historia es considerada como el resultado del proceso temporalmente dirigido del *ser* y el *devenir*. Conceptos como *fijo* y *abierto* (o *actual* frente a *potencial*) son significativos en tanto enunciados respecto a nuestras habilidades teóricas y empíricas para predecir y retrodecir, o como *modelos dinámicos* o autónomos usados en la explicación científica.

Para Feynman toda definición del tiempo es necesariamente circular, lo importante no es decir qué es el tiempo, sino decir cómo se mide. A lo más, lo que podemos decir es que encontramos que una regularidad en una cosa lleva consigo una regularidad respecto a otra: de manera operacional, basamos nuestra definición del tiempo en la repetición de algún evento aparentemente periódico. “Tiempo es lo que acaece cuando nada más acaece”.¹ En este sentido Misner considera que: “El tiempo se define de tal modo que el movimiento parezca simple”.² Para Mach: “El espacio físico (que incluye ya al tiempo) (...) no es por tanto otro que la interdependencia de los fenómenos. Una física completa que conociera esta dependencia no necesitaría conceptos separados de espacio y tiempo, pues estos estarían ya englobados”.³ El concepto de orden es relativo al entendimiento, Maxwell lo expresaba así: “(La) (c)onfusión, como el término correlativo de orden, no es una propiedad de las cosas materiales en sí mismas, sino tan sólo en relación a la mente que las percibe”.⁴

Se puede pensar en la forma lógica de los objetos físicos, como una serie de estados diferentes en el tiempo, donde la relación de identidad física no precisa que tales estados sean exactamente iguales. La física de los objetos no requiere una negación del flujo del tiempo. La relación de identidad es una relación temporal. Si se impone al tiempo la crítica hecha por Zenón al continuo, es necesario suponer que el proceso físico del flujo del tiempo es independiente de la experiencia psicológica del mismo, la cual no tiene la estructura de un continuo matemático, sino que es de naturaleza atómica o discreta, dado su carácter fenomenológico.

3.2 Tiempo matemático

Si se toma al pensamiento como una secuencia lineal compuesta de actos discretos de atención, se tendrá que el tiempo puede ser asociado de modo natural con el acto de contar, y por ende con la noción de *número*, por encima del continuo lineal de la geometría. Contar es el más sencillo de los ritmos que propone una serie de unidades, cada una considerada similar al resto, y combinadas libremente en grupos; es así que podemos atribuir la capacidad de formar números a un ritmo elemental

¹ “Time is what happens when nothing else happens” (Feynman, 1963).

² “Time is defined so that motion looks simple” (Misner, C. W., Thorne, K. S., Wheeler, J. A. *Gravitation*. San Francisco, Freeman, 1973. *Apud*. Galindo Tixaine, 1995).

³ Fichtes, Z. f. *Phil.* 49, 227, 1866. *Apud*. Galindo Tixaine, 1995.

⁴ “Confusion, like the correlative term order, is not a property of material things in themselves, but only in relation to the mind which perceives them”.

de la atención. Algunas teorías matemáticas intuicionistas de corte neokantiano han basado su construcción de los números naturales en el concepto de multiplicidad de los intervalos temporales tomada como intuición primaria, lo que resulta indudablemente insuficiente. La doctrina intuitiva de L. E. J. Brouwer, de 1913, se deriva del pensamiento kantiano que contemplaba que la aritmética producía su concepto de número mediante la adición sucesiva de unidades en el tiempo, a pesar de que Kant no consideró a la aritmética como ciencia del tiempo del modo en que hizo con la geometría en relación al espacio, ya que las relaciones aritméticas son independientes del tiempo. Hamilton argumentó en el sentido de que el álgebra debía ser la ciencia matemática del tiempo, considerándola más allá de su contenido formalista restrictivo; es así que enuncia tres principios conducentes a derivar el álgebra a partir de las intuiciones temporales: *i)* la noción del tiempo está conectada con el álgebra existente; *ii)* la noción o intuición del tiempo debe ser desarrollada en una ciencia pura independiente; y *iii)* la ciencia del tiempo puro desarrollada de este modo es co-extensiva e idéntica con el álgebra, en tanto que esta es una ciencia. Las ideas de Hamilton concluyeron con el desarrollo de los *cuaterniones* como primer ejemplo de un álgebra no conmutativa (Whitrow, 1980).

Desde Russell se puede considerar que un evento “está” en cierto instante cuando es un miembro del conjunto que define a tal instante. El orden temporal de los instantes se define estipulando que uno es anterior a otro si existe algún evento en el primero que sea anterior a algún evento en el posterior.

A continuación se enuncian las propiedades formales del continuo temporal T o tiempo determinista postulado por los físicos, en similitud o en paralelismo con las propiedades características del continuo lineal de los números reales y de los puntos de una línea continua en geometría.

i) T es un conjunto ordenado. Si p y q son dos instantes cualesquiera se tiene que, o bien p es simultáneo con q , o p precede a q , o q precede a p , siendo estas tres relaciones mutuamente excluyentes. Más aún, si p precede a q y q precede a otro instante r , entonces p precede a r , y se dice que q está entre p y r .

ii) T es un conjunto denso. Esto significa que, si p precede a r , hay al menos un instante q entre p y r .

iii) T satisface el postulado de Dedekind, a saber que si T_1 y T_2 son cualesquiera dos partes no vacías de T , tales que todo instante de T pertenece ya sea a T_1 o a T_2 y todo instante de T_1 precede a todo

instante de T_2 , entonces habrá al menos un instante t tal que cualquier instante anterior a t pertenece a T_1 y cualquier instante posterior a t pertenece a T_2 .

iv) T contiene una estructura lineal F , que es un subconjunto numerable tal que entre cualesquiera dos instantes de T hay al menos un instante que pertenece a F (Whitrow, 1980).

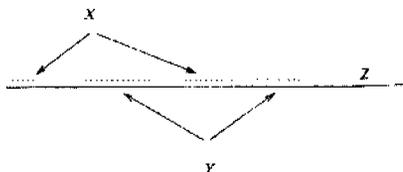
Aquí la intención no es establecer la “realidad” u ontología de los instantes a manera de puntos, sino analizar los principios subyacentes a la construcción teórica a partir de datos empíricos de la conciencia, mostrando así cómo es que se obtiene el mismo continuo aritmético para el tiempo matemático como se hace con el conjunto de puntos de una línea geométrica. Justificar la geometrización del tiempo hecha por Galileo, como un continuo idealizado de instantes sin duración, no es otra cosa más que reconocer el grado de abstracción matemática de esta aproximación.

Los modelos principales de la teoría del tiempo se componen de un conjunto Z de instantes y, en el caso más simple, de una relación de orden $<$ para instantes que se expresa como “*es anterior a*”. $<$ es, por tanto, una relación binaria denotada como $t < t'$ (t se halla temporalmente detrás de t'). Si se identifica la relación $<$ con el conjunto de todos los pares $\langle t, t' \rangle$ para los que vale que t' se halla (temporalmente) delante de t , entonces se tiene que $< \subseteq Z \times Z$.

Sobre la relación $<$ rigen los axiomas del orden lineal. Expresados de un modo informal, los axiomas afirman que ningún instante se halla “detrás de sí mismo” (no: $t < t$); que para cualesquiera dos instantes t, t' distintos, uno de ellos es anterior y el otro posterior (si $t \neq t'$, entonces $t < t'$ o $t' < t$ pero no ambas) y que, si t' es posterior a t y t'' es posterior a t' , entonces t'' es también posterior a t (si $t < t'$ y $t' < t''$, entonces $t < t''$). Además, los instantes han de encontrarse “densos”, es decir: para cualesquiera dos instantes diferentes hay otro que se encuentra temporalmente entre ellos (si $t < t'$, entonces existe un t'' , tal que: $t < t''$ y $t'' < t'$). Finalmente se puede formular un axioma de continuidad como en geometría euclidiana. Para cualesquiera dos conjuntos disjuntos de instantes, existe un instante que se halla, en cuanto al tiempo, entre los instantes de los dos conjuntos. (Balzer, 1997.)

Para todo $X, Y \subseteq Z$: (si $X \cap Y \neq \emptyset$ y para todo t, t' : si $t \in X$ y $t' \in Y$, entonces $t < t'$). entonces existe un $t_0 \in Z$, tal que para todo t, t' : si $t \in X$ y $t' \in Y$, entonces $t < t_0$ y $t_0 < t'$. La premisa (la primera

proposición: “si”) sólo es necesaria esta vez para excluir un encajamiento de los conjuntos X y Y entre sí, tal como se representa en la figura (Balzer, 1997).



Una estructura que satisfaga los axiomas mencionados configura un modelo puramente topológico del tiempo donde se regula la sucesión de instantes que suceden entre sí como lo hacen los números en una recta numérica respecto de la relación “mayor que”. Los axiomas no encierran, en cambio, posibilidad alguna de referirse, como en la recta numérica, a la distancia (temporal) de dos puntos (–de– tiempo) o de “sumar” dos instantes o lapsos temporales. Tales propiedades de la distancia entre números y de la adición de los mismos hacen que la representación de la recta numérica tenga una forma homogénea. En cambio, los axiomas puramente topológicos hasta ahora mencionados, pueden pensarse realizados en una línea curva irregular abierta, sin que ello rinda cuentas acerca de la irreversibilidad del tiempo.

Una teoría del tiempo, cuyos modelos se componen de un conjunto Z de instantes y una relación de orden $<$ entre los mismos, para los cuales rigen los axiomas mencionados, tendría la ventaja de hablar explícitamente sobre instantes. Presenta, sin embargo, varios inconvenientes importantes. En primer lugar es débil, pues en mecánica se precisan distancias entre instantes y la posibilidad de sumar lapsos temporales. Naturalmente se podría tomar además una función de distancia y la adición como conceptos fundamentales adicionales y prescribir también sendos axiomas apropiados. Pero entonces se obtienen casi los mismos axiomas que rigen para los números reales. Además resulta bastante oscuro lo que son propiamente los instantes. Tal teoría sólo es incorporable dentro de la mecánica clásica con complicaciones. Por estas razones utilizaremos un modelo más formal del tiempo, con la desventaja de que en el modelo se identifican los instantes con números reales, pero con el aliciente de simplificar la construcción total de la mecánica. Se hacen equivaler los instantes con los números reales sólo por razones de simplicidad. Complicando la formulación no resulta difícil evitar esta equiparación y considerar a los instantes como objetos (entidades) fundamentales.

Se tiene entonces que, de modo formal, un modelo de la teoría del tiempo es una estructura $\langle \mathbb{R}; < \rangle$ compuesta por los números reales \mathbb{R} y una relación de orden $<$. Dado que para los números reales se dispone ya de la relación menor–que, podemos emplear esta relación matemática para la relación temporal $<$.

Se dice que x pertenece a un modelo de la teoría del tiempo si y sólo si existen Z y $<$, tales que (Balzer, 1997):

- 1) $x = \langle Z; < \rangle$
- 2) Z es el conjunto de los números reales
- 3) $<$ es la relación menor–que sobre los números reales.

En el contexto de la teoría del tiempo se puede denotar a Z y a $<$ en lugar de \mathbb{R} y del signo normal $<$ para señalar que queremos hablar aquí realmente de instantes y de la relación temporal “antecede a” y empleamos objetos y estructuras matemáticas sólo por razones de simplicidad. Además de cumplirse los axiomas topológicos mencionados para $<$, resulta definible una función de distancia para números reales. Se establece que $d(\alpha, \beta) = |\alpha - \beta|$, donde $\alpha, \beta \in \mathbb{R}$ y $| \cdot |$ es la función valor absoluto. Además se pueden sumar números reales y definir la derivada para funciones de \mathbb{R} en cualesquiera espacios numéricos.

A manera de ejemplo de modelo real, podemos representar un reloj cuya manecilla da exactamente una vuelta a su carátula. Las diferentes posiciones de la manecilla corresponden a los diferentes instantes $t \in Z$. $t < t'$ significa que la posición de la manecilla t' resulta de la posición de t por giro de la misma en un sentido convenido arbitrariamente. La función de la distancia definible en el modelo del tiempo se corresponde con las diferencias numéricas, constatables en la carátula, entre las subdivisiones marcadas en ella. La distancia entre instantes en el modelo no es otra cosa que lo que se entiende por “lapso” o “duración”. Los lapsos se pueden sumar, siendo interpretable la adición dentro del modelo. Dos números se conciben como longitudes de lapsos temporales (como resultado del cálculo de la distancia entre dos instantes) y su suma matemática es la longitud de dos lapsos temporales juntos. El modelo del reloj considerado no es un modelo auténtico. Un modelo auténtico tendría que extenderse infinitamente hacia el pasado y hacia el futuro. El reloj conforma, no obstante, un fragmento real de semejante

modelo, esto es, un modelo aproximado, pues los postulados del modelo que no se ven satisfechos por el reloj poseen, una vez más, un carácter convenientemente idealizado. (Balzer, 1997)

La posibilidad de considerar en el conjunto Z funciones derivables puede representarse mediante el ejemplo del reloj. Si mediante una idealización describimos el movimiento de un péndulo simple dependiente del tiempo, durante la oscilación del péndulo puede estar funcionando un reloj. La descripción del movimiento tiene lugar mediante la especificación de una función que con cada instante constatable en el reloj coordina una posición del péndulo, en referencia a un sistema de coordenadas establecido. En su descripción de los movimientos, la mecánica presupone que estos tienen lugar de manera continuamente derivable con dependencia del tiempo, es decir, que no se desarrollan de manera entrecortada, discontinua o a saltos. Este principio se manifiesta en la utilización de funciones continuamente derivables, que pueden ser definidas sobre los números reales o sobre estructuras matemáticas isomórficas.

Se dice que una teoría \mathcal{T} es *t-invariante* si la inversión temporal $T(m)$ de cualquier modelo m de \mathcal{T} dinámicamente posible es también un modelo de \mathcal{T} . Bajo este esquema una teoría t-invariante puede tener modelos temporales asimétricos. Por cada sistema que evoluciona según el orden entre eventos dado por $e_i \rightarrow e_j$ puede existir otro sistema que evolucione según $T(e_i) \rightarrow T(e_j)$ restaurando así la simetría total. Pero cuando el sistema es el universo completo, tal situación ya no es posible, puesto que el universo es una entidad única, donde la noción de frontera no está bien definida y no existe otro sistema que pueda restaurar la simetría al acoplarse con él.

El problema de la simetría consiste en obtener un modelo *t-asimétrico* de universo donde los dos sentidos del tiempo puedan ser diferenciados. No hay inconvenientes para construir modelos t-asimétricos a partir de leyes no t-invariantes; el problema está al intentar explicar cómo es posible obtener un modelo t-asimétrico mediante leyes t-invariantes. Este puede considerarse como un pseudoproblema que resulta de confundir una ecuación con sus soluciones: la t-invariancia es una propiedad de las ecuaciones dinámicas (leyes), por su parte, la t-simetría es una propiedad de las soluciones (modelos). Por otro lado, el problema de la elección consiste en proporcionar un criterio no convencional para elegir entre dos soluciones mutuamente en relación especular con respecto al tiempo.

3.3 Reichenbach y la causalidad

Se vio que en Kant el orden causal es tan subjetivo como el tiempo que es una de las categorías mediante las cuales ordenamos nuestra experiencia, pero sin expresar propiedades de las cosas en sí. Reichenbach considera que la filosofía del tiempo y la causalidad subjetivas kantianas son una forma de evasión ya que no se resuelven la paradoja de la libertad y el determinismo, no esclarecen la experiencia del flujo del tiempo, además de que no pueden dar cuenta de la distinción entre pasado y futuro.

Para Reichenbach, la medición del tiempo mediante instrumentos o relojes apela a sus propiedades cuantitativas o métricas en la determinación de intervalos temporales de igual longitud y de la simultaneidad que arroja valores iguales de tiempo para puntos espacialmente distantes. Las propiedades cualitativas o topológicas del tiempo son más fundamentales pues son entendidas como independientes de los procesos de medición e invariantes ante los distintos modos de determinación de la medida.

Reichenbach postula las propiedades más fundamentales del tiempo (Reichenbach, 1959):

- P1. El tiempo fluye del pasado hacia el futuro.*
- P2. El presente, que divide al pasado del futuro, es el ahora.*
- P3. El pasado nunca retorna.*
- P4. No podemos cambiar el pasado, pero podemos cambiar el futuro.*
- P5. Podemos tener registros del pasado, más no del futuro.*
- P6. El pasado está determinado; el futuro es indeterminado.*

La diferencia entre el pasado y el futuro no es una diferencia entre lo conocido y lo desconocido, sino que debe formularse epistemológicamente respecto al modo en que se adquiere conocimiento dotado de sentido y susceptible de ser interpretado. Nuestro conocimiento del pasado se basa en los *registros*. Por el contrario, resulta absurdo hablar de registros del futuro. Una escultura, por ejemplo, debe ser enfocada como una transmisión de la flecha del tiempo a la piedra. Lo que hacemos en primer lugar es señalar nuestra presencia, i.e., fechar la piedra. Una escultura es un registro. Para Reichenbach el hecho de que haya documentos o registros fósiles únicamente del pasado, aunado al hecho de que no podamos recordar el futuro, puede considerarse como evidencia de cierta *estructura del tiempo*, que también es referida como *naturaleza histórica (Geschichtlichkeit)* del mundo. Por otro lado, una flecha subjetiva

del tiempo abarca diferentes actitudes respecto al pasado en comparación con el futuro. Consideramos que el futuro está “abierto” o indeterminado de un modo en que el pasado no lo está. El pasado ha sido cerrado, ha quedado fijo para siempre. En relación a esto, no hay duda del sentir de que nuestras acciones están ligadas esencialmente al futuro (ignorancia) y no al pasado (olvido).

En relación con la asimetría causal, se encuentra de alguna manera la asimetría de la explicación. Usualmente las explicaciones nomológicas aceptadas, apelan a eventos en el pasado del explanandum y no a eventos en su futuro. Mínimamente creemos que el futuro depende contrafácticamente del presente de un modo en que no creemos que dependa el pasado.

La teoría causal del tiempo de Reichenbach reduce el orden temporal al orden causal. La conexión causal es una relación entre acontecimientos físicos y puede ser formulada en términos objetivos dotando de peso o contenido ontológico a las entidades. Esta idea de reducir el orden del tiempo al orden causal está inspirada en el proyecto de Leibniz. La introducción de números para representar los puntos de tiempo se hace después de haber definido un sentido para el mismo. Es así que se debe investigar si la relación de causa-efecto posee un sentido o, cuando menos, un orden. Tal relación debe caracterizarse sin referencia al sentido del tiempo. Se puede establecer una conexión causal, que sea simétrica al definir que un acontecimiento A está *causalmente conectado* con un acontecimiento B , si A es causa de B , o B es causa de A , o bien si existe un acontecimiento C que sea causa de A y de B .

La teoría de Reichenbach no podía quedar definitivamente establecida antes de que Einstein formulara su teoría de la relatividad, pues el argumento decisivo en favor de la definición del tiempo en función del orden causal se deriva de la crítica de simultaneidad hecha por Einstein. Mediante las transformaciones⁶ de Lorentz se logra la inversión del orden temporal para acontecimientos que no pueden estar conectados por cadenas causales. El orden del tiempo es invariante ante tales transformaciones, únicamente para eventos que puedan conectarse mediante señales, i.e., por cadenas causales. La estructura causal supuesta por la teoría de la relatividad especial es una estructura del orden temporal, más no del sentido del tiempo. Si en las transformaciones de coordenadas de Lorentz

$$x = \frac{x' - vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t' - \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

se sustituye t por $-t$, y t' por $-t'$, obtenemos las mismas ecuaciones, salvo que el signo negativo en los numeradores cambia por uno positivo. Esto significa que obtenemos el proceso en el cual la velocidad v tiene el sentido opuesto. La inversión del tiempo sólo invierte el sentido del movimiento y, por lo tanto, conduce a un proceso gobernado por las mismas leyes de transformación. Es así que se relativizan los conceptos de *simultaneidad*, *duración* y *longitud*, pues tienen significado sólo relativo a un sistema de referencia inercial, perdiendo toda connotación absoluta. La teoría de la relatividad no requiere un tiempo con sentido, se basa simplemente en la suposición de un tiempo ordenado ya que Einstein, en su afán determinista, sólo reemplazó la geometría de Euclides por la de Minkowski, pero el tiempo siguió siendo espacializado por la geometría.

Para Reichenbach, la concepción de una causalidad con sentido no implica necesariamente una metafísica; la distinción entre la causalidad y una mera relación funcional puede caber muy bien dentro de una filosofía de corte empirista. Un proceso o fenómeno Q que acaece en el tiempo, representa una serie de estados ordenados en el sentido temporal. Tal descripción se da en un tiempo positivo que es elegido arbitrariamente. Podemos construir una segunda descripción usando un tiempo negativo; entonces numeramos los puntos temporales en sentido inverso o, en otras palabras, introducimos un nuevo tiempo t' , asociado al tiempo original t por la relación $t' = -t$. En la descripción del proceso Q reemplazamos ahora t por $-t$; la descripción resultante se llamará descripción inversa o descripción en tiempo negativo. Así se describe el mismo proceso Q , pero en un lenguaje distinto. Podemos ahora usar la descripción inversa y darle un sentido distinto: la consideramos como una descripción en tiempo positivo. Esto se hace fácilmente suprimiendo el apóstrofo. Surge el problema de saber si existe un proceso Q^* , que se ajuste a esta descripción, o de saber si la nueva descripción denota un proceso Q^* que sea compatible con las leyes físicas. Si esto sucede, podemos decir que el proceso Q es reversible, y podemos llamar a Q^* su proceso inverso. Si no sucede así, decimos que Q es irreversible, o que el proceso inverso no ocurre. El proceso inverso es, por así decirlo, la imagen especular en el tiempo del proceso original. Para cada proceso es posible una descripción inversa; pero no es cierto que para cada proceso exista un proceso inverso. Es habitual sostener que únicamente los procesos irreversibles proporcionan una relación asimétrica de la causalidad, mientras que los procesos reversibles conducen a una relación causal simétrica. Esta concepción es incorrecta pues los procesos irreversibles son los únicos que pueden definir un sentido del tiempo; siendo que los procesos reversibles definen, cuando menos, un orden temporal y, por lo tanto, proporcionan una relación asimétrica de la causalidad.

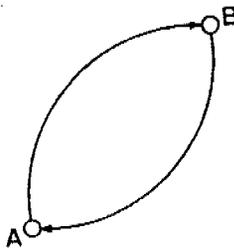
Cuando queremos averiguar qué otras propiedades del tiempo pueden definirse mediante los procesos reversibles, necesitamos encontrar las propiedades que permanecen invariantes ante la inversión del sentido del tiempo. Las leyes de la mecánica pueden informarnos acerca de las relaciones temporales de intermediación: hay una línea causal que va de *A*, pasando por *B*, hasta *C*, o de *C*, pasando por *B*, hasta *A*, y, por lo tanto, lo único que dejan indeterminado es el sentido de la línea. Ni las leyes de la mecánica, ni sus observables nos proporcionan un sentido del tiempo, a menos que haya sido definido previamente con referencia a algún proceso irreversible. Estos elementos no permiten distinguir entre el proceso inverso y el original. No obstante, lo que sí se puede determinar es el orden relativo de dos procesos mecánicos; éste es el significado del llamado principio de comparabilidad local del orden del tiempo que destierra al observador al querer comunicar lo observado. Podemos construir una *red causal* que, en su conjunto, tenga un *orden lineal*. Si se le asigna un sentido a una línea, queda determinado el sentido para cada elemento de la red. Al invertir el sentido de la primera línea, se invierten también los sentidos de todas las demás.

Tales redes causales son abiertas, ya que viajando a través de ellas es imposible regresar al punto de partida: no existen cadenas causales cerradas. Si esta propiedad se mantiene para un sentido lineal, también se mantiene al invertirse el sentido. Esto significa que la abertura de la red es una propiedad del orden y no del sentido. La abertura de las cadenas causales representa un hecho empírico y no puede ser considerada como una necesidad lógica.

La identidad física de una entidad, también llamada *genidentidad*, debe distinguirse de la identidad lógica. Un acontecimiento es lógicamente idéntico a sí mismo; pero cuando decimos que distintos acontecimientos son estados de una misma cosa, empleamos una relación de genidentidad que se mantiene entre el conjunto. En el sentido fenoménico, un objeto físico es una serie de acontecimientos; dos eventos cualesquiera pertenecientes a esta serie se llaman genidénticos. La relación temporal de genidentidad es una función proposicional binaria simétrica, transitiva y reflexiva, y únicamente es aplicable a acontecimientos conectados mediante una cadena causal. Si las cadenas causales son abiertas, se infiere que dos acontecimientos cualesquiera que sean genidénticos, son no simultáneos. Esta consecuencia da a la relación de genidentidad cierta similitud con la identidad entre los acontecimientos de una sección transversal del tiempo, es decir, de un estado del mundo determinado a un tiempo dado. No hay dos acontecimientos distintos que sean genidénticos, por lo que la

genidentidad es equivalente a la identidad: si dos entidades x y y representan acontecimientos genídicos y simultáneos, entonces x y y son idénticos. Al considerar los estados anterior y posterior de una persona como estados de ella misma, el empleo de la relación de genidentidad se apoya en la ley que establece que en un instante t dado, una persona sólo puede existir en un espécimen. Pero no es la lógica la que garantiza esta ley, sino la ley física de que no existen cadenas causales cerradas, la cual nos permite formular la definición de identidad física sin dividir las personalidades.

Conviene distinguir entre el orden lineal de la red y el orden de los acontecimientos en una línea. Cuando hablamos del orden lineal del tiempo queremos decir que, por medio de una definición adecuada de la simultaneidad, pueden enumerarse los acontecimientos sobre todas las líneas; es así que estos números temporales forman series lineales, que van de la infinitud negativa a la positiva. La existencia de un orden lineal del tiempo para el mundo físico se basa en la abertura de la red causal. Supongamos que se ha asignado un sentido a las líneas, entonces dos acontecimientos cualesquiera que estén conectados por una cadena causal y, por lo tanto, estén *ordenados causalmente*, estarán también *ordenados temporalmente*. Si A está en el principio de la cadena y B en el final, entonces A es anterior a B . Esta determinación es unívoca. Si hubiese otra cadena causal, de acuerdo con la cual A fuese posterior a B , entonces estas dos cadenas juntas constituirían una cadena causal cerrada, cuyo caso queda excluido, como se ilustra a continuación (Reichenbach, 1959).



Dos líneas causales que forman una cadena cerrada. Los ordenamientos de esta clase no ocurren jamás.

Hay acontecimientos para los cuales no está determinado un orden del tiempo, como los acontecimientos Q y R , en la figura de abajo (Reichenbach, 1959). Si se puede mostrar que la cadena causal que enlazaría a estos dos acontecimientos no solamente no existe, sino que es físicamente imposible, entonces tales acontecimientos pueden considerarse como simultáneos. Pueden llamarse

indeterminados respecto al orden del tiempo. El orden del tiempo descrito es lineal, pero no tiene todavía sentido. Podemos invertir el sentido de los acontecimientos ordenados causalmente; a pesar de esto, los acontecimientos que son indeterminados respecto al orden del tiempo permanecen en tal relación mutua de simultaneidad.

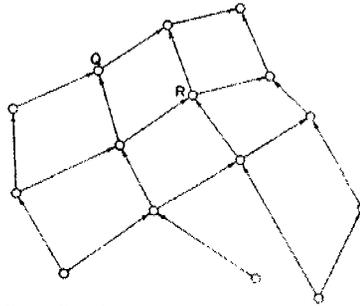


Figura 3. Una red causal. Q y R indican los acontecimientos para los cuales no está determinada el orden del tiempo.

El hecho de que el pasado nunca retorne, es una consecuencia de la abertura de la red causal; pues si el pasado retornase, tendríamos una cadena causal cerrada. La situación sería la misma si se invierte el sentido del tiempo. La proposición $P3$ no representa una característica del sentido del tiempo sino que solamente formula una propiedad del orden, que es la apertura de la red causal.

La existencia de acontecimientos entre los cuales no es posible conexión causal alguna fue supuesta incluso en la física clásica. Tal fue el significado que tuvo la simultaneidad en la física decimonónica: entre los acontecimientos simultáneos no existe interacción causal, porque una influencia causal requiere de cierto tiempo de retraso para propagarse. Einstein, al introducir el principio de que la luz es la señal que se propaga con mayor rapidez, mostró que el término “simultáneo” no está unívocamente definido por la exclusión de la interacción causal, como es el caso de la paradoja *EPR* de la mecánica cuántica.

Con el propósito de llegar a una definición del sentido temporal, Reichenbach propone estudiar los procesos en los cuales cambiamos el futuro mediante actos de *intervención*, entendidos como afirmaciones contrafácticas acerca de lo que sucedería al efectuar manipulaciones experimentales hipotéticas idealizadas. Resulta de interés calcular los efectos que tienen diversas “manipulaciones”, dadas las observaciones de sistemas sin manipular y cierta comprensión de lo que una manipulación

conlleva (Woodward, 2002). Puesto que no podemos cambiar en esta forma el pasado, tal parece que poseemos así una manera de discernir entre el pasado y el futuro. Esta pretensión de tener un poder sobre los acontecimientos futuros está basada en una proposición contrafáctica. Hacemos una afirmación acerca de lo que hubiera pasado si no hubiésemos intervenido. No es extraño que los actos de intervención solamente cambien el futuro y no cambien el pasado; el termino “intervención” está definido por la condición de que el pasado sea invariable. La afirmación de que los actos de intervención no pueden cambiar el pasado es una tautología trivial. Esta consideración lleva a la conclusión de que los actos de intervención no pueden definir un sentido del tiempo, pues únicamente quedan definidos después de que se ha dado un sentido a éste. El pasado se distingue del futuro del modo en que lo inmutable se distingue de lo incognoscible, aunque esto último no implica necesariamente indeterminación pues el futuro no es enteramente incognoscible o inaccesible. Mientras se consideren procesos reversibles para la intervención, las proposiciones $P4$ y $P3$ no expresan un sentido del tiempo. Si el pasado se define en función de un sentido dado del tiempo y, por tanto, en sentido relativo, la proposición $P4$ resulta ser tautológica, ya que se cumple para ambos sentidos del tiempo. Sin embargo, lo que llamamos pasado en tiempo positivo puede cambiar en tiempo negativo porque para éste es futuro. Consecuentemente, si el término “pasado” se restringe a denotar ese intervalo de tiempo en tiempo positivo y, por lo tanto, se usa con un significado absoluto, entonces podemos cambiar el pasado utilizando el tiempo negativo. Por consiguiente, $P4$ es falsa en este caso. Podemos considerar que esta proposición significa que, al recorrer una cadena causal, no podemos influir sobre los puntos ya alcanzados con anterioridad, porque tal influencia constituiría una cadena causal cerrada. Bajo esta interpretación, $P4$ resulta verdadera; sin embargo, no se trata de una proposición respecto al sentido, sino al orden, porque es verdadera ya sea que procedamos en sentido positivo como en sentido negativo de la cadena causal. Todo lo cual es consecuencia de la relación biunívoca establecida entre espacio y tiempo.

Por otra parte, los físicos después de Newton reconocen a entidades como la fricción u otras fuerzas disipativas, como posibles fuentes de la aparente asimetría de la causalidad convencional. El determinismo temporal de carácter reversible y simétrico fue descubierto con la ayuda de las leyes de la mecánica, al tomar en cuenta tales fuerzas disipativas que podían ser abstraídas o despreciadas mediante idealizaciones adecuadas, aunque también era reconocido el sustento de la termodinámica.

Conceptualmente, ante inversiones temporales, la simetría del determinismo no requiere de leyes dinámicas que sean simétricas. Por ejemplo, la fuerza electromagnética de Lorentz $F = e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$, que representa los efectos de un campo magnético externo \mathbf{B} actuando sobre una partícula cargada e que se mueve a velocidad \mathbf{v} , cambia de signo ante una inversión temporal (definida al reemplazar t por $-t$), ya que es proporcional a la velocidad \mathbf{v} (dada en términos de la primera derivada respecto a t). No obstante, el determinismo aplica para ambas direcciones del tiempo. Esta asimetría se anularía si fuera combinada con una reflexión espacial del campo magnético \mathbf{B} . Argumentos similares sobre la asimetría del tiempo reversible que es compensada por otras transformaciones de simetría, se pueden sostener de modo más o menos formal (Cfr. Sachs, 1987). En las discusiones sobre un tiempo reversible, se asume la invariancia bajo traslaciones temporales para especificar un origen arbitrario para la transformación temporal $t \mapsto -t$. A pesar de que tales operaciones de simetría están definidas por su aplicación sobre estados dependientes del tiempo, no representan un tiempo externo o absoluto que sea reversible. Sólo si las transformaciones de simetría requeridas para tales compensaciones son observables y no consecuencia de cualquier inversión temporal, hablaremos de una violación de la invariancia del tiempo reversible. La posibilidad de compensar la asimetría del tiempo dinámico reversible mediante otra asimetría (observable o no) caracteriza la prevaleciente simetría del determinismo y da cuenta de su diferencia radical con los fenómenos irreversibles de la termodinámica. (Reichenbach, 1959)

El tiempo tiene definiciones de coordinación referentes a su *unidad*, a la *congruencia de segmentos temporales sucesivos* (métrica y uniformidad) y a la *simultaneidad* o congruencia de segmentos temporales paralelos en puntos diferentes del espacio. Por encima de las definiciones de coordinación referentes a la métrica del tiempo, debemos considerar sus propiedades *topológicas*. La propiedad más elemental del tiempo es la *sucesión*, el ordenamiento puramente topológico de los puntos temporales en el sentido de la sucesión. La relación topológica fundamental es, por tanto, “temporalmente después” o, inversamente, “temporalmente antes”. El concepto de causalidad sirve para reducir las relaciones topológicas fundamentales a modo de definición de coordinación de la sucesión temporal. Si un evento E_1 es causa de un evento E_2 , entonces E_1 es “anterior” a E_2 . Es así que se tiene que buscar en los eventos E_1 y E_2 una diferencia que nos permita reconocer a E_1 como causa de E_2 . Si colocamos en E_1 un distintivo o marca, es decir, una pequeña variación en sus parámetros, entonces se deberá observar también ese distintivo en E_2 . Si, por el contrario, colocamos este distintivo en E_2 , no se habrá de observar en E_1 . Esta es la peculiaridad de la relación causal: la acción se propaga tan sólo

temporalmente hacia adelante y no hacia atrás, y por esto se puede, inversamente, utilizar la naturaleza de la propagación de la acción para la definición de la sucesión temporal. Reichenbach define por tanto, que un evento Q_2 es posterior a un evento Q_1 , cuando Q_2 puede ser alcanzado por una señal que parte de Q_1 . Esta es la definición de *coordinación topológica* para la sucesión temporal. Después define un segundo concepto topológico del orden temporal que no se opone al concepto de sucesión temporal: dos eventos Q_1 y Q_2 se designan como *indeterminados* en la sucesión temporal, cuando no se puede enviar una señal de Q_1 a Q_2 ni de Q_2 a Q_1 . Los eventos simultáneos no se encuentran en una conexión de acción; un evento simultáneo con mi acción presente está situado temporalmente de tal modo que ni yo puedo influir en él ni de él puede venir un influjo sobre mi acción (Reichenbach, 1996).

Reichenbach concluye que el tiempo no constituye un esquema impuesto a la naturaleza por el espíritu humano en un sentido diferente al de cualquier formulación conceptual del conocimiento de la naturaleza en general. La significación objetiva del tiempo consistente en formular el tipo de orden de las series causales es, por lo tanto, una teoría física de carácter muy general, pero no la decantación de una facultad representativa especial del sujeto. La causalidad es el concepto más hondo al que hay que reducir el tiempo. En este sentido, el espacio es reducible también al tiempo; es así que el orden espacial es reducible al concepto de causalidad. La concepción realista de espacio y tiempo encuentra su formulación profunda al considerarlos como la expresión de la *estructura causal del mundo*. (Reichenbach, 1996)

3.4 El tiempo lingüístico de Cassirer

Para E. Cassirer, el “aquí” y el “allá” espaciales pueden ser reducidos a una unidad intuitiva de manera más simple y directa que en el caso de cada uno de los momentos temporales: el ahora, el antes y el después. Lo que caracteriza a estos momentos como *temporales* es que nunca pueden estar dados simultáneamente a la conciencia como las cosas de la intuición objetiva, puesto que:

(...) los elementos del tiempo en cuanto tales sólo existen porque la conciencia atraviesa por ellos, diferenciándolos entre sí, este mismo acto del atravesar, este *discursus* pasa a ser la forma característica del concepto mismo de tiempo. El ser de la sucesión, como el ser del tiempo, parece elevado a un nivel de idealidad completamente distinto al de la experiencia determinada de modo meramente espacial. (Cassirer, 1998)

Los adverbios de posición se emplean también indistintamente en sentido temporal, de tal modo que la palabra usada para “aquí” confluye con “ahora”, y la palabra para “allá” con “antes” o “después”:

“Otros tiempos son tan reales como el presente, de la misma forma que otros lugares son tan reales como el aquí”.¹

En la visión de Cassirer, la cercanía o lejanía espacial y temporal se condicionan mutuamente de modo objetivo: el distintivo de la forma temporal en cuanto tal no puede manifestarse en el lenguaje con pureza, porque ante todo el lenguaje se encuentra espacializado. Involuntariamente, las formas estructurales del tiempo se transforman y convergen con las del espacio. El presente no debe ser pensado estrictamente como un punto matemático, sino con una extensión determinada:

El ahora, considerado no como abstracción matemática sino como un ahora físico comprende la totalidad de contenidos que pueden ser contemplados en conjunto en una unidad temporal inmediata, que pueden ser condensados en el todo de un instante como una unidad vivencial elemental. El ahora no es el punto límite meramente pensado que separa lo anterior de lo posterior, sino que posee en sí mismo una cierta duración que llega hasta el recuerdo inmediato, hasta la memoria concreta (Cassirer, 1998).

De modo contrastante, cabe mencionar la siguiente diferencia entre espacio y tiempo:

Posiblemente, existe una x tal que toda parte que x ha tenido al menos alguna vez existe en más de un tiempo en el mismo lugar.

NO: posiblemente, existe una x tal que toda parte que x ha tenido al menos alguna vez existe en más de un lugar al mismo tiempo.²

Para la conciencia del conocimiento científico se dan una multitud de grados temporales comprendidos en un orden unitario en el cual cada momento tiene una posición bien definida. Epistemológicamente, este orden no está dado por las sensaciones ni puede ser creado a partir de la intuición inmediata sino que es una obra del entendimiento, una obra de la deducción causal. La categoría de causalidad es la que transforma la intuición de la sucesión en la idea de un orden temporal unitario del acontecer en el mundo. La simple distinción de cada uno de los momentos temporales se transforma hacia una interdependencia dinámica entre ellos.

El lenguaje ofrece una preparación fundamental para el desarrollo del sistema de signos numéricos, que constituye la base de toda medida matemática, sujeta al desarrollo previo e intuitivo de los *numerales*. En fases distintas, estrechamente vinculadas y recíprocamente referidas, el lenguaje desarrolla las tres intuiciones fundamentales de *espacio*, *tiempo* y *número*, creando así las condiciones a las que queda sujeto todo intento de aprehensión intelectual de los fenómenos y toda síntesis de los mismos en la

¹ “Other times are as real as the present, just as other places are as real as here” (Sider, 2001).

² Possibly, there exists an x such that every part x ever has exists at more than one time at the same place.

NOT: possibly, there exists an x such that every part x ever has exists at more than one place at the same time. (Chisholm, R. “Problems of identity”. En: Munitz, M. (ed.). *Identity and individuation*. New York, NYU Press. 1971. *Apud*. Sider, 2001).

unidad de la naturaleza. Prosigue Cassirer: “Si progresivamente se pasa de la representación del espacio a la del tiempo y de ambas nuevamente a la representación del número, el círculo de la intuición parece completarse” (Cassirer, 1998). Dedekind considera que el campo de los números no debe edificarse sobre las intuiciones de espacio y tiempo, sino, por el contrario, que es el concepto de número, como “emanación directa de las leyes puras del pensamiento” (intuiciones primigenias en oposición a las leyes de la lógica formal), el que ha de conducirnos a precisar nuestros conceptos de lo espacial y lo temporal.

Hablamos pues de *conceptos de medida*, que son empleados para la estructuración de la materia empírica. Los conceptos de *número y cantidad*, de *orden* y de *cualidad*, no son existencias en sí mismas pero constituyen, a pesar de ello, las premisas sin las cuales no podríamos hablar de las cosas; son un sustrato lingüístico y conceptual. Otro tanto podemos decir de la *extensión* y la *duración*. Su idealidad no menoscaba la función que les corresponde en la estructura y en el sistema de nuestro conocimiento. En el siglo XVIII, Law reconoce que si debemos referir todos los cambios empíricos que implica la idea del tiempo puro y uniforme a su norma fundamental, esta relación no nos obliga a postular un nuevo ser metafísico:

El error que lleva consigo la conclusión de tomar la necesidad y la independencia de que están dotadas las ideas de espacio y tiempo como una prueba de que ambas tienen necesariamente que corresponder una cosa que sea su imagen prototípica y primigenia. El “original” de los conceptos matemáticos exactos de la extensión y la duración no deben buscarse (...) en los objetos empíricos concretos; pero, en vez de llegar, partiendo de aquí, a la conclusión de que, para encontrarlo, debemos remontarnos a un ser divino superior, debiéramos comprender, por el contrario, que no se trata, aquí, de ninguna clase de coacción de los objetos mismos, sino simplemente de la necesidad de nuestro pensamiento. (...) Estos conceptos “abstractos”, no son tanto creaciones de la razón como de la imaginación, que se nos imponen simplemente en virtud de un largo hábito con una fuerza tan irresistible, que llegamos a considerarlos, por error, como verdaderos fenómenos naturales.¹

Cassirer considera que la matemática no puede ser atribuida a la esfera sensorial ni estar circunscrita a ella, sino que funge como ayuda o instrumento heurístico para remontar las limitaciones y apariencias o vaguedades asociadas a los sentidos. No son una parte de lo sensible, sino su crítica y medio de control:

La continuidad y la infinita divisibilidad del espacio y del tiempo no representan más que (la) capacidad subjetiva de intercalación de nuevos y nuevos lugares intermedios imaginados. (...) En la realidad existe siempre un determinado límite y un determinado número de puntos e intervalos; en la posibilidad, en cambio, no se manifiesta jamás un límite. Es, por tanto, la consideración abstracta de las posibilidades la que hace nacer en nosotros la idea de la continuidad y la infinitud de una línea imaginaria.²

¹ Law, E. *An enquiry into the ideas of space, time, immensity and eternity; as also the self-existence, necessary existence and unity of divine nature*. Cambridge, 1734. Apud. Cassirer, 2000.

² Boscovich, V. *De spatio ac tempore* (Suplemento I a *Theoria philos. naturalis*). Apud. Cassirer, 2000.

Esto nos permitiría explicar, a lo sumo, la divisibilidad infinita de la línea, nunca su continuidad. Dados dos elementos simples de situación, la ilimitada intercalación de valores intermedios entre ellos no puede dar nunca como resultado un todo continuo; de ello sólo resultaría una cantidad discreta, aunque infinita, de puntos, del mismo tipo que el conjunto de los números racionales, pero que no correspondería nunca al conjunto continuo de los números reales. Nos encontramos ante una desintegración empírica de la geometría, ya que es la naturaleza efectiva de los cuerpos la que “decide” acerca de la vigencia de los conceptos matemáticos.

En resumen, Cassirer cree que en los diferentes intentos de solución, se ha visto que los conceptos de espacio y el tiempo recorren toda la escala de las existencias “subjetiva” y “objetiva”. En el primero de estos dos sentidos, se les considera, unas veces, como productos de la percepción directa interior o exterior, otras veces como productos abstractos del pensamiento, otras como frutos de la asociación de ideas, y otras, por fin, como conceptos necesarios dotados de validez general. Y, por analogía con esto, su existencia se concibe en lo subjetivo como una manera de existencia sustantiva e independiente, mientras que objetivamente se presentan e interpretan como simples cualidades y modalidades de las cosas o como relaciones objetivas entre ellas.

3.5 Propiedades generales de las teorías espacio-temporales

El positivismo del siglo XX inició como movimiento neokantiano cuya preocupación central no era la distinción teórico-observacional sino la distinción forma-contenido. El conocimiento de la naturaleza tiene dos elementos diferentes: una *forma*, que en cierto sentido es conceptual o dependiente de la razón, y un *contenido*, al que contribuye el mundo o la experiencia. Donde Kant se equivocó es en caracterizar a estos elementos formales como verdades sintéticas *a priori* irrevisables, pues son mejor descritos como convenciones o definiciones arbitrarias. Nada en nuestro conocimiento de la naturaleza es *a priori* e irrevisable en el sentido kantiano. A juicio de Friedman, un problema abierto importante consiste en poder reconciliar la interpretación lógica o lingüística de lo “formal” o “convencional”, típica de Carnap, con la interpretación planteada por la física-matemática presente en la concepción de Reichenbach:

Tal como la invariancia con respecto a la transformación caracteriza la naturaleza objetiva de la realidad, la estructura de la razón se expresa a sí misma en la arbitrariedad de los sistemas admisibles. Entonces, no es obviamente inherente a la naturaleza de la realidad, que la describamos por medio de coordenadas; esta es la forma subjetiva que permite a nuestra

razón conducirse a través de la descripción (...) la aserción de Kant sobre la idealidad de espacio y tiempo ha sido formulada precisamente sólo en términos de la relatividad de las coordenadas.¹

Para Reichenbach, la tabla kantiana para las categorías de los juicios aparece primitiva en comparación con el método moderno de la teoría de los invariantes, visto como nueva noción de objetividad. Hay un aspecto importante en el que este método para elucidar la distinción forma-contenido es contrario a la concepción de Kant, para quien los componentes formales del conocimiento son los elementos más estables y objetivos, mientras que en la reformulación convencionalista son los elementos más arbitrarios y subjetivos. A medida que se amplía la clase de sistemas de coordenadas admisibles, se reduce la clase de elementos factuales u objetivos en nuestras descripciones de la naturaleza, ensanchando a su vez la clase de elementos subjetivos o convencionales. Respecto a las estructuras geométricas, Schlick identificaba lo observable con la totalidad de las coincidencias espacio-temporales respecto a los procesos o fenómenos materiales. La identificación de lo objetivo con lo invariante nos ofrece razones para pensar en la identificación de lo objetivo con lo observable.

Friedman señala que una teoría espacio-temporal es el conjunto de todas las ubicaciones a un cierto tiempo o todos los actuales y posibles eventos. Reconoce dos elementos primitivos: el espacio-tiempo, dotado de estructura geométrica; y campos de materia –distribuciones de masa, carga, energía, etcétera– que representan los procesos físicos y los eventos que ocurren en el espacio-tiempo. Las teorías físicas pretenden explicar y predecir las propiedades de los procesos materiales y de los eventos relacionándolos con la estructura geométrica en la que están “contenidos”, esta contención siempre presupone que el espacio-tiempo precede al fenómeno. Este punto de vista contrasta con la formulación filosófica estándar de Reichenbach, quien considera a las entidades observacionales –marcos referenciales, rayos de luz, trayectorias de partículas, barras materiales y relojes– como primitivas e intenta definir estructuras geométricas en términos del comportamiento de tales entidades observacionales. Friedman trata a las entidades geométricas más abstractas como primitivas y a continuación define en estos términos a las entidades observacionales (Friedman, 1983). Los sistemas referenciales son tratados como casos específicos de sistemas de coordenadas, los rayos de luz y las

¹ Just as the invariance with respect to the transformation characterizes the objective nature of reality, the structure of reason express itself in the arbitrariness of admissible systems. Thus it is obviously not inherent in the nature of reality that we describe it by means of coordinates; this is the subjective form that enables our reason to carry through the description (...) Kant's assertion of the idealty of space and time has been precisely formulated only in terms of the relativity of the coordinates (Reichenbach, 1960).

trayectorias de partículas como tipos particulares de curvas en el espacio-tiempo, las barras materiales y relojes como configuraciones particulares de los campos de materia fundamentales.

En este contexto, el espacio-tiempo es una variedad diferenciable cuadrimensional, provista de una topología. Esta forma conceptual no prejuzga la cuestión en favor de la unificación de espacio y tiempo, característica de la teoría de la relatividad, sino que simplemente expresa la necesidad de cuatro coordenadas para especificar unívocamente a los eventos. La separación de espacio y tiempo provista por el sentido común (presente en algunas formulaciones newtonianas) también puede ser descrita en términos de una variedad cuadrimensional, con estructura definida por el producto cartesiano $E^3 \times R$ entre el espacio euclidiano tridimensional y el tiempo newtoniano unidimensional. Bajo este esquema se efectúa una unificación relativista de espacio y tiempo al considerar al espacio-tiempo como una variedad semi-Riemanniana cuadrimensional.

Las teorías espacio-temporales pretenden describir las trayectorias o historias de cierta clase de partículas físicas idealizadas, ya sean partículas libres, partículas afectadas sólo por fuerzas gravitacionales, partículas cargadas sujetas a un campo electromagnético externo, etcétera. Tales trayectorias o historias se representan mediante curvas en el espacio-tiempo y mapeos continuos y diferenciables que van de un intervalo de la recta real a la variedad considerada. Estas curvas son las llamadas *líneas-universo* en el espacio-tiempo; intuitivamente se puede pensar en los números reales del dominio de tales mapeos como *tiempos*. Bajo este esquema, el mundo está descrito como un mundo de eventos. Las partículas puntuales son construidas como la suma total de eventos a lo largo de las líneas-universo. Además se supone la existencia de entidades “continuas” (partículas fundamentales, rocas, relojes, reglas, sujetos, etcétera) que habitan el espacio-tiempo. Este “habitar” puede ser caracterizado mediante una relación binaria de *ocupación* sostenida por los objetos y los puntos espacio-temporales.

Respecto a las partículas bajo la influencia de fuerzas externas, se tiene que esta aproximación teórica del espacio-tiempo provee teorías de interacción –gravitacional, electromagnética, etcétera– que postulan objetos geométricos adicionales subyacentes a la variedad: las *variables fuente* [source variables] (densidad de masa, densidad de carga, etcétera) representan las fuentes de las interacciones y las *variables de campo* [field variables] (campo gravitacional, campo electromagnético, etcétera)

representan las fuerzas provenientes de las interacciones. La teoría provee *ecuaciones de campo*, que relacionan a las variables fuente con las variables de campo, y *ecuaciones de movimiento*, que seleccionan una clase privilegiada de trayectorias con la ayuda de las variables de campo ciertas condiciones iniciales o de contorno.

Se pueden distinguir los diferentes sentidos contrastantes de *absoluto* para evaluar la orientación que tienen las distintas teorías espacio-temporales en las discusiones. Friedman propone tres vías (Friedman, 1983):

i) Absoluto-relacional. Aquí se dan los debates acerca del estatus ontológico de las estructuras espacio-temporales: si las teorías supuestas son meramente teorías acerca de las relaciones espacio-temporales entre los objetos físicos, o si describen independientemente entidades existentes —espacio, tiempo o espacio-tiempo— en donde se localizan los objetos físicos; o si las relaciones y propiedades espacio-temporales son reducibles o definibles en términos de otras relaciones y propiedades, por ejemplo, causales. Claramente hay aquí dos consideraciones en disputa. La primera concierne a la ontología o dominio de las teorías espacio-temporales; la segunda respecto al estatuto de las propiedades y relaciones espacio-temporales definidas en cierto dominio. Friedman llama al primero *relacionalismo leibniziano* y al segundo *relacionalismo reichenbachiano*. Un relacionalista del primer tipo estará conforme al considerar las propiedades y relaciones espacio-temporales como primarias, en tanto que su dominio de definición no rebase el conjunto efectivo de eventos físicos. Puede haber relaciones primarias de distancia, simultaneidad o de precedencia temporal entre eventos físicos, pero que no se sostienen para puntos espacio-temporales desocupados. El segundo relacionalista no está particularmente preocupado con el dominio de definición de las relaciones espacio-temporales y estará dispuesto a admitir posiciones desocupadas. Pero insistirá en que sólo son admisibles relaciones definidas de manera “apropiada” (por ejemplo, en términos de conexión causal).

ii) Absoluto-relativo. Bajo esta distinción, un elemento absoluto de la estructura espacio-temporal es uno que se encuentra bien definido independientemente del marco de referencia o sistema de coordenadas. Por ejemplo, en el espacio-tiempo $E^3 \times R$ del sentido común y de algunas versiones de la mecánica newtoniana, se dan relaciones bien definidas respecto a la permanencia en la misma posición espacial y a la estancia en la misma posición temporal (simultaneidad), que se cumplen entre puntos

espacio-temporales independientemente del sistema de referencia: en esta concepción espacio-temporal, espacio y tiempo son absolutos. En otras formulaciones de la mecánica newtoniana la mismidad de las posiciones temporales permanece bien definida, pero para posiciones espaciales la definición de mismidad es relativa a un marco de referencia inercial dado: el tiempo es absoluto, no así el espacio. En la teoría de la relatividad ambas relaciones están bien definidas sólo relativamente a un sistema de referencia inercial local: ni espacio ni tiempo son absolutos en este sentido. La mismidad de la posición espacio-temporal es independiente del sistema de referencia, y por lo tanto absoluta en este sentido para todas las teorías espacio-temporales.

iii) Absoluto-dinámico. Aquí está la distinción entre la estructura geométrica que se fija independientemente de los eventos y procesos que ocurren en el espacio-tiempo, y la estructura geométrica que no se fija de ese modo. En este sentido, una estructura geométrica absoluta afecta el contenido material del espacio-tiempo (mediante leyes de movimiento, por ejemplo) pero no es afectada en sentido opuesto. Einstein consideró a este tipo de absoluto especialmente incómodo, y se esforzó en eliminarlo en la teoría general de la relatividad. Este es el tipo de absoluto que mejor refleja la simetría de grupos de una teoría espacio-temporal.

Parece ser que el sentido *iii)* implica al *i)*, ya que si una estructura geométrica ni siquiera es afectada por los eventos físicos y procesos, no puede ser reducida a ellos. Sin embargo, este puede ser un malentendido del sentido técnico en el que los objetos absolutos son independientes de los procesos físicos. Para un objeto, ser independiente o absoluto significa que está determinado por las ecuaciones de campo de la teoría en cuestión. Así que será el “mismo” en cualquier modelo dinámico posible. Esto, por sí mismo, no excluye la posibilidad de que el objeto sea reducible a procesos físicos; sólo implica que cualquier reducción a procesos físicos tiene que ser la “misma” en cualquier modelo de la teoría. Si un objeto dinámico depende explícitamente de un campo específico, entonces al menos sabemos dónde buscar para reducirlo a fenómenos físicos.

Los sentidos *ii)* y *iii)* de absoluto son independientes entre sí. Una propiedad puede ser independiente del referencial y seguir siendo dinámica y dependiente de un campo de materia. Un ejemplo es el tiempo propio en relatividad general, que es una función de la métrica (mide “distancias” sobre curvas tiempo-formes) y es por tanto dinámico; pero es absoluto en el sentido de ser independiente del sistema

de referencia. En cambio, en relatividad especial el tiempo propio es absoluto en los sentidos *ii*) y *iii*). Similarmente, un rasgo puede depender del sistema referencial sin ser dinámico. Por supuesto, si una característica es dependiente del sistema referencial no será realmente un objeto geométrico, dejando de aplicar en sentido estricto la dicotomía absoluto-dinámico. Lo que puede ocurrir es que una característica sea función de algunos de los componentes de un objeto geométrico que sea absoluto en el sentido *iii*). Un ejemplo es el tiempo coordinado en relatividad especial, que es dependiente del marco referencial pero independiente del campo de materia.

Aunque los sentidos *i*) y *ii*) de absoluto son lógicamente independientes, no obstante se encuentran en estrecha relación debido al problema del movimiento. En un sentido absoluto –en el cual el espacio o el espacio-tiempo son entidades con existencia independiente– la trayectoria de un objeto en movimiento es representada como una curva en un espacio o espacio-tiempo incluyente. Se busca explicar las propiedades físicas del movimiento en términos de las propiedades geométricas de tales curvas. Para el relacionismo leibniziano no hay un espacio o espacio-tiempo incluyente. El movimiento se representa en términos de relaciones espaciales cambiantes entre objetos físicos dados: todo movimiento es relativo a cierto objeto físico referencial. Por consiguiente, bajo este punto de vista, un experimento mental que contemple un objeto particular aislado en un universo “vacío”, no puede tener un estado de movimiento asignable. Similarmente, si el mundo contiene sólo dos objetos, estos no podrán diferir respecto a sus propiedades relacionadas de movimiento; pues en tanto progresa el movimiento relativo, los dos son perfectamente simétricos. Finalmente se tiene que el tiempo y el espacio euclidiano tridimensional son absolutos en los sentidos definidos por *ii*) y *iii*).

Ahora es pertinente preguntar: ¿cómo describir el tiempo absoluto y la idea de simultaneidad absoluta? Friedman propone el uso de una función temporal t continua y diferenciable capaz de mapear puntos en una variedad topológica M . Interpretamos $t(p)$ como el tiempo del evento p , $|t(p) - t(q)|$ como el intervalo temporal entre los eventos p y q , y decimos que p y q son simultáneos sólo en caso de que $t(p) = t(q)$. Sin embargo, en la práctica, este método es poco eficaz ya que asigna significado absoluto no sólo al intervalo temporal entre p y q sino también al número real asignado a cada evento. Dadas dos funciones temporales definidas por t y $t' = t + b$, con b una constante arbitraria, vemos que t y t' concuerdan en sus intervalos temporales y en la simultaneidad, pero desavienen en el número específico asignado a cada evento.

Respecto a la convencionalidad de la simultaneidad podemos considerar la siguiente discusión. En su célebre artículo de 1905, *On the electrodynamics of moving bodies*, Einstein establece operacionalmente la simultaneidad mediante la definición $t_B - t_A = t'_A - t_B$, aplicable a dos posiciones espaciales A y B dotadas cada una de un reloj que registra los instantes en que se envía un rayo del punto A al punto B donde se refleja de nuevo hacia A que lo recibe al tiempo t'_A .¹ Tal expresión puede reescribirse como $t_B = t_A + \frac{1}{2} (t'_A - t_A)$. Si ésta última es una mera “definición”, entonces será natural suponer que haya igualmente buenas “definiciones” alternativas. Esto es lo que sostienen Reichenbach y Grünbaum al escribir $t_B = t_A + \varepsilon (t'_A - t_A)$, donde ε es un parámetro real entre 0 y 1, a la cual consideran tan buena “definición” de sincronía o simultaneidad relativa a un sistema específico, como la expresión propuesta por Einstein. La elección $\varepsilon = \frac{1}{2}$ respecto a cualquier otro valor admitido, sólo puede ser favorecida por la simpleza en el cálculo; no hay hechos que hagan a la relación de Einstein más verdadera u objetiva que la expresión anterior. La expresión con $\varepsilon = \frac{1}{2}$ es equivalente a la asunción de que la velocidad de la luz es la misma para el camino entre A y B como para el regreso², i.e., que no hay un “viento de éter” que líe la relación. Reichenbach y Grünbaum argumentan, sin embargo, que cualquier pretensión acerca de la velocidad de la luz en el sentido de ida –como distinta de la velocidad para el camino de regreso– es arbitraria o convencional.

El llamado presentismo es inconsistente con la relatividad especial, pues la noción de tiempo presente carece de significado en el espacio-tiempo de Minkowski, puesto que este no contempla particiones espacio-temporales que sean distinguibles en espacio y tiempo por separado, ni tampoco nociones de simultaneidad independientes del observador. El espacio-tiempo clásico, ya sea en su forma newtoniana que incluya reposo absoluto o bien en su forma no-newtoniana, se puede fundamentar en una variedad cuatridimensional de puntos espacio-temporales que incluya todo lo que pasa en el pasado, presente y futuro. En este espacio-tiempo, la simultaneidad es un concepto absoluto que está bien definido. Para cualquier punto P dado, el conjunto de puntos simultáneos con él es el llamado hiperplano de simultaneidad. Puesto que la simultaneidad clásica es una relación de equivalencia, el

¹ Einstein, A. “On the electrodynamics of moving bodies”. 1905. En: Perrett, W. y Jeffery, G. B. (trad.). *The principle of relativity: a collection of original memoirs on the special and general theory of relativity*. New York, Dover, 1923. Apud. Friedman, 1983.

² Tradicionalmente, tres principios concernientes a la velocidad de la luz han sido pensados para desempeñar un lugar fundamental en la relatividad especial (Friedman, 1983):

- (P1) *La constancia de la velocidad de la luz.* La luz se propaga con una velocidad constante c independiente de la velocidad de su fuente.
- (P2) *La invariancia de la velocidad de la luz.* La luz tiene la misma velocidad constante c en todos los marcos de referencia inerciales.
- (P3) *El carácter limitante de la velocidad de la luz.* Ninguna señal “causal” puede propagarse con velocidad mayor que la de la luz.

conjunto de hiperplanos de simultaneidad es una partición del espacio-tiempo clásico. Cualquiera de estos hiperplanos se puede pensar como el “presente” y el resto del espacio tiempo se divide en aquellos puntos que son temporalmente antes que todos los puntos en el hiperplano (pasado), y los puntos temporalmente después que todos los puntos en el hiperplano (futuro). Estas relaciones temporales de “simultaneidad”, “antes” y “después”, son absolutas, en el sentido de que son intrínsecas a la geometría del espacio-tiempo clásico y no dependen de ningún modo del observador (Sider, 2001). El espacio tiempo minkowskiano también consiste en una variedad cuatridimensional de puntos espacio-temporales que contienen todo lo que acaece en lo que normalmente llamamos pasado, presente y futuro. Pero el espacio-tiempo de Minkowski no incluye la noción clásica de simultaneidad. Así como la noción de reposo absoluto no se encuentra bien definida en un espacio-tiempo no newtoniano, la noción de simultaneidad no está bien definida en el espacio-tiempo de Minkowski, por lo que no está dividido en hiperplanos ordenados de simultaneidad. Ningún punto del espacio-tiempo se puede asociar a un conjunto de puntos simultáneos con él. Son dignos de mención tres conjuntos que están bien definidos en relación a cualquier punto P : *i*) el futuro absoluto de P , es el conjunto de puntos que pueden ser alcanzados por una señal que viaje desde P a una velocidad menor o igual a la de la luz; *ii*) el pasado absoluto de P es el conjunto de puntos que pueden dar alcance a P mediante una señal que viaje a una velocidad menor o igual a la de la luz; y *iii*) el conjunto de puntos separados de P que son espacio-formes, i.e., aquellos puntos que no pueden ser conectados con P por ninguna señal que viaje a una velocidad menor o igual que la de la luz. La relación de separación espacio-forme no es transitiva, y por tanto no puede ser utilizada para dividir el espacio-tiempo de Minkowski en algo semejante a los hiperplanos de simultaneidad.

Cabe preguntarnos en qué sentido es el espacio-tiempo minkowskiano inconsistente con el presentismo. Parece ser que esta es una inconsistencia superficial ya que el espacio-tiempo de Minkowski incluye o articula todos los eventos de la historia en una variedad existente particular. En esta medida el presentismo es ya inconsistente con el espacio-tiempo clásico; esto no es extraño ya que las teorías científicas espacio-temporales son típicamente formuladas bajo asunciones eternalistas por razones de conveniencia o sencillez. El presentista quiere negar la existencia de algunos de los eventos y objetos que el eternalista acepta, pretende desterrar los eventos y objetos pasados o futuros.

En conexión con el problema de la materia al interior de las teorías espacio-temporales, Russell considera que: “La vieja noción de substancia tenía cierta adecuación en tanto pudiésemos creer en un tiempo cósmico y en un espacio cósmico; pero no se adecua tan fácilmente cuando adoptamos el esquema cuatridimensional del espacio-tiempo”.¹

En relatividad general, el tiempo se convierte en una dimensión de una estructura cuatridimensional, siendo inadecuado concebirlo paraméricamente dirigiendo la evolución del sistema, como se hacía en física pre-relativista. En este dominio, el problema de la flecha del tiempo ya no puede formularse en términos del gradiente entrópico entre los dos extremos de un tiempo abierto y lineal, sino que puede ser abordado en términos de las propiedades geométricas del espacio-tiempo independientemente de argumentos termodinámicos. De existir, la flecha del tiempo sería una característica intrínseca del espacio-tiempo “que no (...) puede ser reducida a características no temporales”². En este marco, el espacio-tiempo coexiste con el universo: cada mundo posible posee su propio espacio-tiempo y no existe un punto de vista exclusivamente temporal, externo a dos mundos posibles, desde el cual puedan ser comparados. No tiene pues sentido hablar de coexistencia fuera del tiempo. Dos modelos del universo definidos por (M, g) y (M', g') —con M y M' variedades cuatridimensionales diferenciables y g, g' sus métricas respectivas— son equivalentes si son isométricos, es decir, si existe una función difeomórfica $\theta: M \rightarrow M'$ que transforme la métrica g en g' . La aceptación de la tesis de equivalencia no depende de la t-invariancia de las leyes físicas.

Según las ecuaciones de campo de Einstein, existe una íntima conexión entre la distribución de materia-energía y las propiedades geométricas del espacio-tiempo; por lo que la asimetría temporal equivale a la asimetría de las propiedades geométricas del espacio-tiempo a lo largo de la dimensión temporal. En un espacio-tiempo temporalmente no orientable, es posible convertir un vector tiempo-forme que apunta hacia el futuro en un vector tiempo-forme que apunta hacia el pasado mediante una transformación continua; por lo que la distinción entre semiconos de luz pasados y futuros no puede ser especificada de manera general.

¹ “The old notion of substance had a certain appropriateness so long as we could believe in one cosmic time and one cosmic space; but it does not fit in so easily when we adopt the four-dimensional spacetime framework” (Russell, B. *The analysis of matter*. New York, Harcourt, Brace & Company, 1927. *Apud*. Sider, 2001).

² Earman, J. “An attempt to add a little direction to ‘the problem of the direction of time’”. *Philosophy of Science* 41: 15-47, 1974. *Apud*. Lombardi, 2006.

Earman adopta el *principio de precedencia* según el cual: “el transporte continuo tiene precedencia sobre cualquier método para fijar la dirección del tiempo”;¹ si existe una flecha del tiempo, debe ser global. Matthews rechaza tal principio alegando que el espacio-tiempo puede ser temporalmente no-orientable si posee flechas del tiempo regionales pero no una flecha de tiempo global.²

3.6. Crisis del determinismo. Escuela de Bruselas

El proyecto de la Escuela de Bruselas aspira a una idea de tiempo distinta a la subdivisión clásica aristotélica de pasado, presente y futuro a lo largo de una línea recta en la que el presente representa un punto que separa el pasado del futuro. El concepto clásico es difícil de sostener, pues el presente sólo sería un punto. Si esto fuera así, ¿cómo puede separar el pasado y el futuro? En cierto sentido, son el pasado y el futuro los que están ahí, no el presente. Al incluir la segunda ley de la termodinámica, llegamos a un concepto del tiempo en que el pasado está ahí, el presente tiene una duración finita y el futuro todavía no está. Se trata de una concepción de la naturaleza muy similar a la del tiempo de los sistemas biológicos en donde el tiempo puede ser entendido como creación. La física se ha de convertir en una ciencia de procesos irreversibles, en la que la teoría clásica y la cuántica serían simplificaciones válidas únicamente para sistemas simples e idealizados, pertenecientes a dominios específicos de aplicación. La confianza en el formalismo determinista de la naturaleza ha sido perturbada en todos los niveles. El punto de vista de Prigogine reconcilia las visiones de Poincaré y Boltzmann. Este último pensaba en un formalismo que pudiera describir la evolución de la materia a nivel microscópico que fuera capaz de desplegar procesos irreversibles. Poincaré no estaba satisfecho únicamente con argumentos intuitivos. La matematización que resulta de estas aproximaciones conduce a un nuevo concepto de tiempo y de irreversibilidad (Prigogine, 1980).

¿Cómo se puede pretender que los objetos, sometidos a las leyes mecánicas reversibles en el tiempo, se manifiesten microscópicamente de forma irreversible? Esta paradoja u obsesión de la reversibilidad (*Umkehrinwand*) fue enunciada por Loschmidt en 1876. Más tarde se unió la voz de Zermelo (1896) con la objeción de la recurrencia (*Wiederkehrinwand*). Reichenbach define el futuro como el sentido del aumento de la entropía de la mayor parte de los sistemas ramificados, es decir, sistemas que se

¹ *Idem.*

² *Cfr.* Matthews, G. “Time’s arrow and the structure of space”. *Philosophy of Science* 46: 82-97, 1979. *Apud.* Lombardi, 2006.

encuentran aislados del sistema principal durante cierto periodo. Las ideas de Loschmidt y Zermelo van en contra del punto de vista de Reichenbach, pues dicen que:

(...) si es altamente probable que un sistema en un estado de entropía inferior al máximo evolucione hacia un estado de mayor entropía hacia el futuro, es también altamente probable que provenga de un estado de mayor entropía en el pasado; a su vez, si un sistema aislado vuelve a aproximarse a su estado inicial tanto como se quiera, la entropía no puede ser una función monótonamente creciente con el tiempo. Por estas razones Reichenbach admitió que su definición no implicaba la existencia de una dirección del tiempo global para todo el universo (Lombardi, 2006).

Según un teorema de Poincaré, un sistema físico aislado y confinado regresa infinitas veces a cualquier entorno abierto de casi todo estado inicial, lo que se basta para demoler aparentemente la importancia del teorema H de Boltzmann. Para el teorema de la recurrencia de Poincaré, si se sellaran de forma absoluta las paredes de la habitación donde me encuentro, toda actividad en ella desaparecería paulatinamente, y me visitaría pronto la muerte y la descomposición, pero bastaría con esperar lo suficiente para ver cómo de las cenizas renacía un ser muy parecido, si no es que exacto a mí. La hipótesis de ergodicidad establece que sobre un período de tiempo prolongado, el tiempo de permanencia en una región dada del espacio fase de micro-estados con la misma energía es proporcional al volumen de la región, o sea todos los micro-estados accesibles son igualmente probables a lo largo de un período de tiempo prolongado. En su evolución un sistema aislado recorre todos los estados compatibles con su energía: en un sistema ergódico, cualquier punto representativo de su estado en el espacio fase pasa, a lo largo del tiempo, por todos los puntos de la hipersuperficie de energía constante (Lombardi, 2003).

Empero, el aislamiento total es imposible, pero no si el sistema es todo el universo. Boltzmann llegó incluso a pensar que nuestro universo actual era uno de esos milagros de la recurrencia de Poincaré. Suposición central en el teorema H es el *Stoßzahlansatz*, o hipótesis del caos molecular, según la cual el estado microscópico de las moléculas antes de una colisión es aleatorio. El *Stoßzahlansatz* de Boltzmann es incapaz de seleccionar una flecha del tiempo.

Las ecuaciones cinéticas de Boltzmann en las que está basado su teorema H , no comparten la simetría de las ecuaciones de la dinámica clásica. La estrategia de asociar a la entropía macroscópica (o función de Lyapunov) con un operador microscópico de entropía, constituye una manera radicalmente diferente de aproximarse a tales asimetrías, derivando en una descripción en términos de paquetes o racimos de trayectorias o funciones de distribución, que son fundamentales en el sentido de que no se pueden reducir a trayectorias individuales o a funciones de onda. La asociación de los operadores con

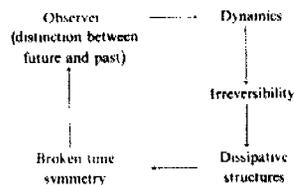
cantidades físicas tiene un significado más amplio que es independiente de la cuantización. Significa, básicamente, que la descripción clásica en términos de trayectorias debe ser reemplazada ya sea por la inestabilidad o aleatoriedad a nivel microscópico o debido a las "correlaciones" cuánticas, distinguiendo entre lo que Prigogine llama "correlaciones pre-colisionales" y "correlaciones post-colisionales". La idea es hacer aseveraciones sobre la evolución de las funciones de distribución $\rho(x, v, t)$, que vayan más allá de lo que pueda ser dicho mediante trayectorias individuales. En esta formulación aparecen nuevos conceptos, dotados de fertilidad epistémica, como el operador microscópico de entropía M y el operador del tiempo T que representa otra forma de tiempo: un tiempo interno que es diferente al tiempo de la mecánica clásica o de la mecánica cuántica, las cuales simplemente etiquetan paramétricamente las trayectorias o funciones de onda.

Al calcular los valores promedio de los operadores temporales T y T^2 , el tiempo ordinario t se convierte en un promedio sobre el nuevo operador de tiempo. Después de hacer una normalización apropiada se obtiene que $dt = d\langle T \rangle$, que significa que el tiempo macroscópico es simplemente el promedio sobre el nuevo operador de tiempo. Bajo esta perspectiva, el concepto usual de tiempo se recupera sólo cuando T se convierte en un operador trivial de la forma $T\rho(x, v, t) = t\rho(x, v, t)$, entonces la "edad" del sistema físico es independiente de la forma de la distribución en el espacio fase.

Por otro lado, el nuevo concepto implica que la "edad" depende de las funciones de distribución, dejando de ser un parámetro externo a manera de etiqueta impuesta por las formulaciones clásicas; es en este sentido que se habla de un tiempo interno a cada sistema o proceso físico. Debe tenerse en cuenta que conceptos como "interioridad" y "exterioridad" conllevan un alto contenido geométrico en conexión con las noción de frontera de un sistema físico, por lo que precisan de un mayor grado de refinamiento. Esta aproximación modifica profundamente la forma tradicional de tratar al tiempo ordinario, el cual emerge ahora como un tipo de promedio sobre los tiempos individuales internos del ensemble. Esto se puede apreciar en el siguiente diagrama (Prigogine, 1980):

En mecánica clásica es común concebir algunos eventos simples que son reversibles en el tiempo. Esto resulta impensable para procesos químicos o biológicos, puesto que sus reacciones están conceptuadas sobre bases procesales irreversibles. Más aún, los procesos de medición —como extensiones de las percepciones sensoriales— necesariamente involucran elementos irreversibles. Por lo tanto, las dos formulaciones de las leyes naturales (una para la cual $t \leftrightarrow -t$ y otra para el caso contrario) son igualmente fundamentales: el conjunto de las trayectorias o de funciones de onda son en cierto grado elementos básicos de las teorías físicas. Pero también podemos considerar a la irreversibilidad como un elemento básico en la descripción del mundo físico.

Una vez que se ha añadido la función de entropía macroscópica a la dinámica, el futuro y el pasado pueden ser distinguidos al modo de la termodinámica macroscópica donde el futuro está asociado con una entropía creciente. La transición de un grupo dinámico a un semigrupo puede ser llevada a cabo de dos modos: en una descripción el equilibrio es alcanzado en el “futuro”, y en la otra en el “pasado”. Es así que puede darse la ruptura de simetría temporal. Al estudiar las leyes dinámicas reversibles en el tiempo, se hace una distinción entre pasado y futuro a manera de concepto primitivo que en cierto sentido precede a la actividad científica. Este concepto primitivo puede ser incluido en un esquema autoconsistente, como se muestra en el siguiente diagrama (Prigogine, 1980), donde el observador es un organismo vivo que hace la distinción entre futuro y pasado para finalizar con estructuras disipativas, que contienen una “dimensión histórica”. Por lo tanto, ahora podemos reconocer al sujeto epistémico como una forma evolucionada de estructura disipativa y justificar “objetivamente” la distinción entre el futuro y el pasado que fue introducida al principio.



La descripción de estructuras coherentes no es menos fundamental que el comportamiento de los sistemas dinámicos simples. La transición desde un nivel al otro involucra una ruptura de simetría; la existencia de procesos irreversibles a nivel microscópico tal como la describen las ecuaciones cinéticas

viola la simetría de las ecuaciones canónicas y las estructuras disipativas pueden en su momento romper la simetría espacio-temporal. La mera posibilidad de tales sistemas autoconsistentes implica la existencia de procesos fuera del equilibrio. La distinción entre procesos reversibles e irreversibles es un problema de dinámica y en ámbitos como la posibilidad de la vida, la actividad y actitud del observador no pueden ser desasociadas del entorno cosmológico en donde se encuentra.

La base discursiva de la física clásica era la convicción de que el futuro está determinado por el presente, y por consiguiente un estudio minucioso del presente permite desvelar el futuro. Sin embargo, en ningún momento esto fue más que una nueva posibilidad teórica. Incluso podemos calificarle de mito fundacional de la ciencia clásica. En la actualidad la situación es radicalmente diferente. Es notable que este cambio resulte básicamente de una mejor comprensión de las limitaciones de los procesos de medición, debido a la necesidad de tomar en cuenta el papel del observador y su entorno. Este es un tema recurrente en muchas de las ideas que se originaron con los desarrollos conceptuales de la física moderna, que proponen revisar el realismo ingenuo de la física clásica, que asumía que las propiedades de la materia estaban “ahí” independientemente de los dispositivos experimentales.

La reversibilidad teórica surge mediante el uso de idealizaciones que van más allá de las posibilidades de medición que son llevadas a cabo con precisión finita. La irreversibilidad observable es un rasgo de las teorías que toman en cuenta la naturaleza, limitación e incertidumbre de los procesos de observación y medición. Es aquí donde se sitúan las formulaciones negativas o restrictivas de la segunda ley de la termodinámica, pertenecientes al mundo macroscópico. Las limitaciones crecientes de las leyes deterministas significan que ante esta reformulación nos dirigimos de un universo cerrado, en donde todo está dado, hacia uno que está abierto a las fluctuaciones e innovaciones. Ya Reichenbach se había dado cuenta de que la entropía de cada sistema en forma de “rama” crece en la misma dirección que la de la rama progenitora. Debido a esta ramificación de ramas gruesas de baja entropía vemos a nuestro alrededor innumerables ramas pequeñas, sistemas fuera de equilibrio, cuasi-aislados, de entropía baja y creciente.

3.6.1 Concepto estructural del tiempo

Los conceptos de invariancia temporal, irreversibilidad y flecha del tiempo, no sólo se refieren a propiedades diferentes, sino que se aplican a entidades categorialmente distintas. La invariancia

temporal es una propiedad sintáctica de una ley dinámica, que sólo depende de su estructura formal. Se dice que una ley dinámica L es t-invariante en el contexto de una teoría \mathcal{T} cuando permanece inalterada al cambiar el signo de la variable temporal y de todas las variables dinámicas pertenecientes a \mathcal{T} . Como caso contrario, podemos mencionar la ley de Fourier de la conducción de calor,¹ que no es t-invariante en termodinámica fenomenológica.

A diferencia de la t-invariancia, el concepto de reversibilidad no se aplica a leyes sino a procesos. Un proceso P compuesto por la sucesión temporal de eventos e_1, e_2, \dots, e_n , es reversible si tal sucesión puede presentarse en ese orden o en el orden inverso; es irreversible si siempre se presenta en ese orden temporal y nunca ocurre espontáneamente en el sentido inverso. Estos conceptos no se refieren a los estados de un sistema sino a la evolución temporal de alguna magnitud o variable asociada al estado del sistema. El concepto de irreversibilidad implica que ciertos procesos quedan excluidos de la realidad física.

Se habla de *irreversibilidad nomológica* cuando ciertos procesos quedan excluidos por una ley o combinación de leyes físicas. Por el contrario, se habla de *irreversibilidad de facto* en el caso en que algunos procesos quedan excluidos, no como resultado de una ley, sino debido a que ciertas condiciones, ya sean iniciales o de frontera, no se hacen efectivas en la naturaleza.

Lombardi propone una relación entre invariancia temporal y reversibilidad del modo siguiente:

- Los procesos nomológicamente irreversibles quedan descritos por leyes no t-invariantes; los procesos excluidos son (...) los correspondientes a la ecuación dinámica que resulta de cambiar el signo de la variable tiempo y de todas las variables dinámicas en la ley original.
- Los procesos irreversibles de facto quedan descritos por leyes t-invariantes; quedan excluidos aquellos procesos descritos por las soluciones correspondientes a condiciones iniciales o condiciones de contorno que, de hecho, nunca o casi nunca se hacen efectivas. (Lombardi, 2006)

Por lo tanto, si una ley es no t-invariante en el contexto de una teoría, describe un proceso nomológicamente irreversible. A su vez, si una ley es t-invariante en un contexto teórico, o bien describe un proceso reversible, o bien uno que sea irreversible de facto en el caso de que la no verificación de ciertas condiciones iniciales o de contorno excluya al proceso inverso. Es así que una

¹ Representada por la ecuación en derivadas parciales $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K}{\rho_m c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$, con x la distancia a un origen dado, K la conductividad térmica, ρ_m la densidad material, c el calor específico, T la temperatura y t la variable temporal.

ley legítima de la física resulta no t-invariante en el contexto de la termodinámica fenomenológica a escala macroscópica.

Para un sistema S un *microestado mecánico* al instante t está dado por el valor de las $3N$ componentes de posición y las $3N$ componentes de momento de cada partícula, quedando representado por un *punto* en el espacio fase correspondiente, que contiene una trayectoria que representa la evolución mecánica de S . En cambio, un *macroestado termodinámico* de S es compatible con una enorme variedad de microestados mecánicos considerados equiprobables con cierto macroestado, quedando representado por una *región* de dimensión menor o igual a $6N$ en el espacio fase.

El problema de la irreversibilidad consiste en explicar la evolución termodinámica de los macroestados de un sistema en términos de la evolución mecánica de sus microestados. El proyecto de Boltzmann consiste en calcular el número de microestados diferentes que son compatibles con un macroestado dado. El macroestado más probable será aquél al cual corresponda el máximo número de microestados que converjan hacia él, definiendo así la macroevolución del sistema. Surge así la idea de Boltzmann de identificar a la entropía de cada macroestado con una medida del número de sus microestados compatibles, o equivalentemente, la entropía se traduce en una medida de la información relativa al sistema. El orden de magnitud de las probabilidades involucradas en este tipo de sistemas permite explicar la irreversibilidad macroscópica observada en los procesos termodinámicos. Los microestados que conducen a evoluciones contrarias a lo estipulado por la termodinámica, resultan poco probables o atípicos, en la medida en que el volumen que ocupan es inferior por muchos órdenes de magnitud al volumen de la región correspondiente al macroestado de equilibrio.

En el enfoque de Gibbs, la región inicial se ha distribuido y ramificado hasta el punto de cubrir más o menos uniformemente la región del macroestado de equilibrio. El aumento de la entropía para un sistema aislado se refiere a la llamada entropía de grano grueso [coarse-graining], lo cual implica una interpretación gnoseológica de la irreversibilidad. El origen estadístico de la irreversibilidad asociada al crecimiento de entropía es consecuencia de dos factores: la precisión finita de las mediciones y la alta complejidad de la evolución dinámica de sistemas con un número grande de partículas. La complejidad dinámica hace que en la evolución se diluyan los detalles, quedando escondidos en sutiles y débiles correlaciones difíciles de ser detectadas y utilizadas. El orden que tiene el estado inicial se va diluyendo

en la evolución, quedando oculto de forma prácticamente irrecuperable ante el alto número de grados de libertad y de correlaciones de las partículas del ensemble.

El problema de la flecha del tiempo o asimetría temporal suele subsumirse al problema de la irreversibilidad. Quienes adoptan esta postura identifican el sentido temporal privilegiado, pasado-a-futuro, con el sentido en el que se desarrollan los procesos irreversibles, de modo tal que la irreversibilidad brindaría el fundamento de la asimetría temporal. Desde esta perspectiva se intenta reducir la relación temporal entre eventos "*e₂ es posterior a e₁*" en términos de otra relación asimétrica no temporal entre eventos, sea de carácter nomológico o de facto. Sklar rechaza este enfoque reduccionista de la flecha del tiempo al señalar que comprendemos el significado de "posterior" y podemos entablar relaciones temporales entre eventos con total independencia del conocimiento teórico científico, pero que sin este conocimiento independiente del orden temporal, la irreversibilidad contenida en las leyes de ese tipo pierde su contenido empírico convirtiéndose en una verdad analítica (Sklar, 1977). Para la posición reduccionista de la flecha del tiempo, donde se intenta reducir la relación de prioridad temporal a alguna característica nomológica o de facto del mundo físico, se supone que existe una relación R no-temporal y asimétrica entre eventos tal que $R(e_1, e_2)$ se cumple si y sólo si se verifica $E(e_1, e_2)$, con E la relación temporal "es anterior a". Para algunos reduccionistas, la conexión entre R y E es una asociación legal, para otros tiene naturaleza de definición. No obstante, ambos enfoques se basan en suponer nuestras intuiciones acerca del significado de "anterior". La expresión "flecha del tiempo" sólo tiene un sentido metafórico, su significado debe entenderse como una analogía. Se avanzaría al lograr concebir el problema de la flecha del tiempo en términos de poder distinguir entre los dos sentidos del tiempo sobre la base de argumentos físicos, con independencia de nuestras intuiciones temporales. La analogía "flecha del tiempo" no sólo hace alusión a la dirección de los procesos de la realidad, sino que también se refiere al "sentido" o "meta" en la que se espera que la flecha haga su blanco, sin pretender desprender de aquí cualquier forma de teleología.

La definición de t-invariancia no afirma nada de las propiedades que deben cumplir las evoluciones posibles. Una ley t-invariante puede ser tal que todas o la mayor parte de sus evoluciones posibles sean t-asimétricas. La t-invariancia de las ecuaciones de campo no constituye un obstáculo para describir un universo t-asimétrico, pues cada solución de este tipo que tomen las ecuaciones representa un universo cuyo espacio-tiempo es asimétrico en sus propiedades geométricas a lo largo de la dimensión temporal,

por lo que la t-invariancia de las leyes físicas no es tan relevante para el problema de la flecha del tiempo como tradicionalmente se ha supuesto.

Las cantidades dinámicas son intrínsecas al tiempo y el estado de movimiento de un objeto en el tiempo es un hecho acerca de cómo es en sí ese objeto. El llamado *cuadridimensionalismo* defiende la tesis sobre la ontología del mundo material y su composición tanto de partes temporales como espaciales. Se sitúa contra el *presentismo* o doctrina para la que solamente el presente es real. El presentismo es análogo al actualismo modal para el cual la realidad consiste sólo de instancias actuales. Por otro lado, para el *posibilismo*, en tanto posición opuesta a la filosofía de la modalidad, la realidad también contiene meramente cosas posibles; esto lo sitúa en analogía con el *eternalismo* para el cual los tiempos y objetos pasados o futuros son tan reales como los objetos que existen actualmente. La mayoría de los científicos elaboran sus discursos como si el eternalismo fuera verdad al referirse a un espacio-tiempo específico que incluye pasado, presente y futuro; es aquí donde un presentista pretende que tales discursos puedan ser parafraseados mediante el uso de las operaciones gramaticales de temporalización verbal. En una posición intermedia entre estas dos visiones antagónicas, está la postura de que el pasado es real pero el futuro no; la realidad consistiría en una variedad cuadridimensional creciente [the growing block universe].

Los objetos perduran. Para algunos presentistas esto puede resultar contrario a las intuiciones, pues considerarían que los objetos son tridimensionales y perduran al estar “totalmente presentes” sólo durante todos los tiempos en que existen. Otros filósofos, como Whitehead, considerarían que un objeto que perdura se encuentra extendido sobre una región espacio-temporal, mientras que un objeto en duración se “arrastra” o “precipita” sobre una región del espacio-tiempo como conjunto de todos los objetos que ocupan las distintas subregiones en tiempos diferentes.

Para un cuadridimensionalista los cambios en el tiempo son una cuestión de disimilitud entre partes temporales sucesivas. Él considera al mundo como un mundo de etapas, aceptando el principio metafísico de composición mereológica irrestricto en el que para cualquier objeto existe una suma mereológica o fusión de ciertos objetos –un objeto más amplio que contiene tales objetos como sus partes. Según este principio, cualquier grupo de objetos tiene una suma, incluso un grupo de objetos

muy dispersos. Esto resulta en la consideración holista de que un mundo con etapas también contiene una suma mereológica para cada colección de etapas.

Respecto a la universalidad del tiempo, podemos tomarla como algo más que conceptual, se trata de una universalidad física (cercana al realismo físico) o momento real del mundo. La presunta universalidad del tiempo no es unívoca. No toda realidad del mundo está desplegada en el tiempo (Zubiri, 1996). Suele pensarse que el tiempo de cada cosa no es sino un fragmento del tiempo universal: la universalidad del tiempo sería entonces unicidad. Esto no es así porque cada transcurso concreto posee *eo ipso* su tiempo propio. Estos tiempos no podrían ser fragmentos de un tiempo único más que si el carácter temporal de todos los transcurros fuera el mismo. El tiempo subjetivo de cada individuo es irreductible, por ejemplo, al tiempo de la rotación de los cuerpos celestes. Por tanto, estos dos tiempos no pueden sumarse como fragmentos de un tiempo único. Las maneras de estar en el tiempo son distintas, por consiguiente la temporalidad de cada cosa no puede ser fragmento de un tiempo único.

El tiempo no es algo independiente de las cosas; si lo fuera, el tiempo de cada cosa sería algo así como el punto de aplicación del tiempo a las cosas. Pero esto es imposible, porque para ello lo menos que podría pedirse al tiempo es justamente que tuviera unidad intrínseca y formal; pero el tiempo carece de unicidad: su universalidad es puramente sincrónica. El tiempo no es una envolvente del mundo y de las cosas que hay en él. El problema de la realidad del tiempo queda reducido a la caracterización del tiempo propio de cada transcurso, entendido este como proceso. El tiempo absoluto como algo independiente de las cosas no tiene existencia. Su realidad es formalmente respectiva. El tiempo relativo no es, como pretendía Newton, un tiempo ilusorio frente a un tiempo absoluto que sería el verdadero; el tiempo carece de toda realidad sustantiva. Las cosas no transcurren en el tiempo sino que transcurren temporalmente; cada proceso, en cuanto a su multiplicidad física, tiene su tiempo. La respectividad del tiempo no es primaria, sino meramente posicional y fásica: depende de la realidad como proceso. Por consiguiente, son las cosas las que por ser procesalmente transcurrentes dan lugar a la línea del tiempo. Son las cosas las que devoran el tiempo, y no al revés. El tiempo es siempre, y sólo, tiempo-de algo, de algo procesal. Para Zubiri:

El tiempo se nos presenta (...) como una línea de momentos, continua y transcurrente, abierta y aperiódica, que va pasando en una dirección fija desde un antes hacia un después, y que es (...) metrizable de infinitas maneras. A este tiempo se refieren las cosas transcurrentes. Todas ellas tienen un cuándo. (...) cada proceso de ellas tiene su tiempo

propio, que consiste en la respectividad meramente posicional de sus fases. La unidad sincrónica de estos tiempos (...) es lo que extrínseca pero realmente puede y debe llamarse tiempo cósmico (Zubiri, 1996).

El tiempo como línea temporal plantea tres problemas esenciales. *i)* La línea temporal es siempre y sólo línea temporal-de algo procesal, *ii)* cada transcurso tiene un tiempo propio y *iii)* la línea temporal tiene estructuras distintas, la estructura de los procesos impone a la línea temporal una estructura particular. Tales procesos pueden ser de cuatro tipos: físicos, subjetivos, biológicos y biográfico-históricos. La línea temporal de los procesos físicos tiene el carácter de *sucesión*; la de los procesos subjetivos es *duración*; la de los procesos biológicos culmina en el carácter de *edad* (en el sentido más amplio); y la línea temporal de la vida biográfico-histórica está constituida por un anticipar proyectante o *precesión*. Sucesión, edad, duración y precesión son los cuatro tipos estructurales del tiempo, son cuatro formas de transcurrir. En este trabajo sólo hablamos de los dos primeros tipos procesales.

3.6.2 El tiempo físico

El tiempo físico está concebido sólo según las realidades materiales y una vez determinado se aplica a otras como la del sujeto. El tiempo físico no afectaría a las cosas si éstas no cambiaran. Llamamos a este cambio movimiento. La continuidad del movimiento depende de la condición fenoménica esencial de que el espacio es continuo (dejando de lado la estructura del espacio físico y matemático). El movimiento transcurre desde un punto de partida hasta un punto de llegada. Y en eso está el cambio: en que va ocupando un lugar desde el punto de partida hasta el punto de llegada. Lo que llamamos las partes del movimiento, un pasado, un presente y un futuro, son el lugar que ocupó antes, el lugar que ocupa ahora y el lugar que va a ocupar después; constituyen una multiplicidad numérica. El carácter numerable de estas tres partes depende del carácter numerable de los puntos de la continuidad. En su concepción del tiempo, Zubiri aplica el método de la vía negativa o apofático, con una función altamente positiva, dada la dificultad de definir el ahora:

(...) el tiempo no es movimiento. Aristóteles lo hizo notar ya contra Platón. Porque movimiento; cada cuerpo tiene el suyo; en cambio, el tiempo está en todas partes. En el problema del movimiento, en lugar de fijar dos extremos –en dos actos– podemos intercalar muchos actos intermediarios. Tenemos así la multiplicidad de los momentos de la sucesión. Como decía Aristóteles, el tiempo es el número de la sucesión, según el antes y el después, según un orden determinado. El antes y el después no temporales –sería un círculo vicioso–, sino el antes y el después en sentido meramente ordinal. La sucesión es la sucesión en la que se deja de estar en un sitio estando en otro. Y, reciprocamente, no se puede estar en otro sitio más que dejando de estar en el primero. El puro estar y no estar no confiere carácter de sucesión al tiempo. Lo que le confiere carácter de sucesión es que el móvil está en un sitio precisamente no estando en el anterior. Lo cual significa que el tiempo, desde un punto de vista cósmico, es una sucesión de ahora, y que el ahora en cada momento deja de ser para ser inmediatamente pasado y ser sustituido por un nuevo ahora. El ahora es siempre distinto (y) transcurre del presente hacia el pasado. Es netamente una visión del tiempo tomada desde el punto de vista del presente. El presente que va pasando a hacerse pasado. Esta sucesión no constituye una línea autónoma, una especie de gran

ámbito en el que van inscribiéndose los cuerpos físicos bajo el poder del tiempo. Hay continuidad entre el presente, el pasado y el futuro, con todas sus repeticiones posibles, pues son parte de un mismo movimiento. (Zubiri, 1996)

El tiempo es cómo el ahora va dejando de ser al convertirse en otro ahora. La sucesión de ahora es el tiempo. El tiempo se distingue del movimiento en la medida en que una sucesión se distingue de un proceso.

4. La imagen subjetiva del tiempo

Husserl deja muy en claro el carácter subjetivo de lo espacio-temporal, desmarcándolo de connotaciones objetivistas, excepto en la comunicabilidad de las determinaciones:

Las formas experimentables por los sentidos e imaginables de una manera sensible e intuitiva en (el) mundo, y los tipos imaginables en cada grado de generalidad, se transforman continuamente unos en otros. En esta continuidad ellos colman el espacio-tiempo (sensiblemente intuitivo) como su forma propia. Cada estructura de esa infinitud abierta, aun cuando es intuitivamente dada en la realidad como fáctum, carece empero de “objetividad” y no es intersubjetivamente determinable para cada uno –para cada otro que no la ve fácticamente al mismo tiempo–, no es comunicable en sus determinaciones. Para esto sirve patentemente el *arte de la medida* (Husserl, 1984).

El tiempo subjetivo es el tiempo de la conciencia. La conciencia, en tanto entidad polisémica, no es un objeto concreto, una sustancia o una esencia, sino que puede ser abordada como proceso viviente que se despliega en el tiempo. Tal concepción es tautológica ya que sin saber con precisión lo que es la vida, se pretende describir el tiempo subjetivo en términos de lo viviente, siendo la vida misma un efecto tangible del tiempo. El aspecto primordial de la conciencia es la experimentación del mundo mediante su duración temporal, aspecto que necesita la operación de la memoria episódica: “por medio del tiempo aprehendemos el mundo, el tiempo es el componente inicial necesario de la conciencia viviente” (Díaz, 2007). En este sentido, dice Bachelard que “la conciencia es un laboratorio individual, un laboratorio innato” (Bachelard, 1980).

El futuro temporal, o despliegue del proceso consciente, puede representarse como una flecha temporal. La relación de esta flecha con el tiempo de la física es tan estrecha en el sentido de que el proceso consciente también es una progresión de dirección irreversible donde el pasado es fijo e irrecuperable y el futuro está abierto con posibilidades virtualmente infinitas.

Para definir la duración del proceso consciente o del despliegue de la conciencia, podemos concebir en el diagrama de la flecha una “ventana” que se mueve constantemente y que está localizada al frente y en la punta de la flecha. El “espesor” de la ventana intenta representar el hecho de que la conciencia tiene una duración breve en el tiempo presente: estamos conscientes en el momento presente y durante un periodo corto de tiempo que podemos denominar “ventana del presente”. Díaz propone que tal “ventana” tiene una duración efímera y está funcionalmente relacionada con tres tipos de factores: *i)* signos neurofisiológicos, *ii)* mecanismos de memoria, en especial de la memoria de trabajo o memoria a corto plazo y *iii)* actos de comportamiento. Nuestro conjunto de percepciones es puro “pasado” y lo

que llamamos "presente" se puede entender como la extrapolación fenomenal a posteriori de la realidad física (Díaz, 2007).

En suma, la conciencia se desenvuelve en el tiempo. W James subrayó éste fenómeno bajo la denominación de "corriente de la conciencia", una corriente que va avanzando de manera continua, no se detiene nunca y es absolutamente cambiante. Según Bergson, para un ser consciente existir es cambiar, cambiar es madurar y madurar es crearse indefinidamente: la conciencia ilumina la zona de potencialidades que rodea al acto, llenando el intervalo entre lo que se hace y lo que se puede hacer, entre el acaecer y la potencialidad. Para Whitehead "nuestro "presente" observacional es la duración. Es la totalidad de la naturaleza que se aprehende en nuestra duración inmediata. Tiene, por lo tanto, la naturaleza de un evento, pero posee una peculiar integración que distingue a tales duraciones como tipos especiales de eventos inherentes a la naturaleza". Concluye Díaz que "la conciencia se puede conceptualizar como una ventana en el tiempo presente de escasa duración, ventana que ilumina partes del devenir vital. Ésta es su propiedad actualizadora, que constituye una explicación funcional en términos filosóficos a corto plazo" (Díaz, 2007). La clase o categoría que actualmente se le confiere al devenir, proviene de la tensión que le impulsa a organizar el futuro, no a predeterminarlo.

En la duración no es el presente el que deja de existir, es justamente al revés: es el pasado que continúa avanzando y empuja al porvenir: "La duración es el progreso continuo del pasado que va royendo el porvenir y que se va hinchiendo al avanzar y al progresar."¹ Aquí, el tiempo no consiste en dejar de ser para ser pasado, sino que es el pasado el que va avanzando hacia el presente y empujando hacia el porvenir. Además, no sólo el presente se ve empujado por el pasado, sino que también se ve atraído por el futuro, no a la manera de un polo ya determinado pero en aras de un "impulso creador". El transcurso del tiempo subjetivo consiste en que se va modulando cualitativamente, se va enriqueciendo o se va empobreciendo, y se va modificando el ahora, empujándolo del pasado hacia el presente. No existe aquí una multiplicidad de ahora, no existe sucesión. La duración no es sucesión. La conciencia se va modificando cualitativamente, el ahora como momento de la duración se va enriqueciendo en el sentido de que es un mismo ahora dilatado. El ahora de hoy es más amplio que el de ayer. En resumen, Zubiri apunta que:

¹ Bergson, H. *L'évolution créatrice*. Paris, PUF, 1949. *Apud*. Castex, 1988.

El tiempo se va engendrando de esta manera durativa, a diferencia del tiempo de la sucesión, que no hace sino transcurrir en el movimiento. Durando el tiempo se va engendrando. Mientras en la sucesión se deja de ser, en la duración se conserva lo que ha sido como pasado. (...) Mientras en la sucesión, las partes -el antes, el ahora y el después- son partes del movimiento numéricamente distintas, en la duración lo que llamamos antes, ahora y después son pura y simplemente modulaciones cualitativas (Zubiri, 1996).

El pasado desaparece como realidad, pero ha decantado las posibilidades. Como conceptos, pasado, presente y futuro tienen un sentido proyectivo: el pasado es lo que ya no es real, es algo que pervive en el presente en forma de posibilidad; el futuro va determinando el presente y su paso hacia el pasado. Mientras el tiempo de la duración transcurre del pasado al futuro, el llamado tiempo de la precesión transcurre del futuro propuesto hacia el pasado (predicción). Se trata de un movimiento en el que se precede, es el futuro adviniendo. Mientras que en el mundo físico vemos el tiempo desde el presente, en la duración lo hemos visto desde el pasado, y en la precesión lo vemos desde el futuro. La precesión es el futuro determinando el presente. Ni en la duración, ni en la sucesión se está abierto hacia el futuro. Nos encontramos con el tiempo no como algo que transcurre, sino como un campo temporal. Es el tiempo como apertura al futuro, al presente y al pasado. El tiempo como apertura es diferente del tiempo como sucesión y como duración. Podemos ver al tiempo como un todo o un ámbito que se va a realizar.

Hay un incesante conflicto en el que la conciencia del tiempo subjetivo de la vida se opone a las condiciones espacio-temporales del mundo: “El camino elegido por la filosofía del tiempo y del espacio puede ser interpretado como la reacción contraria a la agudización de la divergencia entre el tiempo subjetivo y el tiempo físico” (Blumenberg, 2007). Este antagonismo surge tácticamente de toda constitución de conciencia percibida por el sujeto: “La violenta reducción del tiempo físico al tiempo del sujeto no es nada extraña en toda experiencia histórica” (Blumenberg, 2007).

Desde el dominio fenomenológico o de las esencias, el “análisis del tiempo hace aparecer al sujeto y al objeto como dos momentos abstractos de una estructura única que es la presencia. Por el tiempo se piensa al ser, porque gracias a las relaciones del tiempo-sujeto y del tiempo-objeto se pueden comprender las relaciones entre el sujeto y el mundo” (Merleau-Ponty, 1957). A diferencia de la teoría trascendental-estética del tiempo, la fenomenología contempla su forma de ordenamiento no como algo ya dado y terminado, de manera que no habría lugar más que para la pregunta de qué es el tiempo, sino como emergente en la conciencia, como aportación fundamental de ésta. Ver en esto el objeto de la fenomenología implica el recurso a la intuición. Esta vivencia básica es la vivencia de la discrepancia

en la conciencia entre lo que ella debe y puede realizar. El “debe” se refiere a la necesidad en el mundo, el “puede” sólo a sí misma.

El tiempo subjetivo que va surgiendo inmediatamente de la “vida” de la conciencia, es primero y sobre todo “tiempo vivo”: identidad de referencia al mundo y constitución del tiempo. La conciencia del tiempo es la única inmediatez insuperable, puesto que la conciencia, así como el ser vivo que la porta, son en el tiempo. El recuerdo y la expectativa son algo propio de la conciencia restringida. En este sentido, Heidegger eleva por igual al “mundo” y al “tiempo” a la categoría de momentos constitutivos de la comprensión de sí mismo y del ser. “Contar con el tiempo es constitutivo del ser-en-el-mundo”.¹

Contra el “flujo” uniforme del tiempo subjetivo Bergson argumenta del siguiente modo:

(...) no hay un ritmo de duración; es posible imaginar varios ritmos diferentes que, lenta o rápidamente, miden el grado de tensión o relajación de distintos tipos de conciencia y, por lo tanto, fijan sus lugares respectivos en la escala del ser. El concebir la duración de diferentes tensiones es tal vez tan difícil como extraño para nuestra mente, puesto que hemos adquirido el útil hábito de substituir la duración verdadera, que es vivida por la conciencia, por un Tiempo homogéneo e independiente; aun así, en primer lugar, es fácil (...) el detectar la ilusión que suministra tal pensamiento ajeno a nosotros, y, en segundo lugar, esta idea tiene a su favor, en el fondo, el acuerdo tácito de nuestra conciencia. (...) percibir consiste en condensar periodos enormes de una existencia infinita diluida en unos cuantos momentos mayormente diferenciados de una vida más intensa, resumiendo así una historia muy larga. Percibir significa inmovilizar.²

En esta línea discursiva conviene tratar el proyecto de Bergson como el descubrimiento de la temporalidad en la duración de la conciencia:

(...) si consideramos (...) al Tiempo, como un medio homogéneo en que se desarrollan y suceden ‘estados’ de conciencia, estamos negando a estos estados o actos su verdadera duración. Los hechos de conciencia no están aislados unos de otros, se interpenetran y modifican continuamente. El tiempo de la conciencia no puede interpretarse como un medio homogéneo, pues esto sería una intromisión de la noción de espacio en el dominio de la conciencia pura. Así el tiempo, concebido como medio indefinido y homogéneo, proviene sólo del fantasma del espacio. (...) La sucesión de los estados de conciencia no es una mera suma, sino algo así como una potenciación mutua, irreversible, que hace de lo que dura algo a la vez idéntico y cambiante. (...) Durar no equivale a ningún espacio a recorrer. (...) La duración pura es una sucesión de cambios cualitativos, que se interpenetran y funden entre sí.³

Si no tenemos esto en cuenta, llegamos a una interpretación mecánica o reduccionista que sólo retiene del tiempo las simultaneidades. No hay en el espacio ni duración, ni sucesión, sino que los estados sucesivos del mundo exterior existen en una conciencia que los conserva.

¹ Heidegger, M. *Ser y Tiempo*. Madrid, 2003. Apud. Blumenberg, 2007.

² (...) there is no one rhythm of duration: it is possible to imagine many different rhythms which, slower or faster, measure the degree of tension or relaxation of different kinds of consciousness and thereby fix their respective places in the scale of being. To conceive of duration of different tensions is perhaps both difficult and strange to our mind, because we have acquired the useful habit of substituting for the true duration, lived by consciousness, an homogeneous and independent Time; however, in the first place, it is easy (...) to detect the illusion which renders such a thought foreign to us, and, secondly, this idea has in its favor, at bottom, the tacit agreement of our consciousness. (...) to perceive consists in condensing enormous periods of an infinitely diluted existence into a few more differentiated moments of an intenser life, and in thus summing up a very long history. To perceive means to immobilize (Bergson, 1988).

³ Bergson, H. *Essai sur les données immédiates de la conscience*. Paris. PUF. 1948. Apud. Castex, 1988.

En su primera etapa, Bergson está todavía demasiado dominado por los ecos del dualismo cartesiano (donde hay una separación tajante entre la substancia-pensamiento y la substancia-extensión) como para observar la duración fuera de la conciencia. Más adelante extenderá la duración a lo real, y luego la estudiará especialmente en lo vivo, en que ella mejor se manifiesta. Bergson manifiesta en esta segunda instancia un paso de un dualismo a un monismo temporalista (Castex, 1988).

Respecto a la libertad, Bergson reconoce dos teorías opuestas: dinamismo y mecanicismo. El primero parte de la actividad voluntaria, en la que cree encontrar hechos que escapan al determinismo. En cambio, el mecanicismo sólo reconoce, según la complejidad del caso, el mayor o menor entrecruzamiento de leyes necesarias, lo cual da sólo cierta apariencia de libertad. Domina en el mecanicismo la noción de *inercia* y en el dinamismo, en cambio, domina la noción de *espontaneidad*. Entre los *estados* de conciencia que son en realidad *actos* de conciencia hay diferencias sucesivas de cualidad. “Si nuestra vida psíquica se compusiera de estados aislados, unidos por un yo inmutable, el cual hiciera la síntesis de esos estados, no habría en nosotros duración. Un yo que no cambia es un yo que no dura”, y un yo que no dura es un yo que no existe. “El tiempo es la trama (...) de nuestra vida interior. (...) La duración es el proceso continuo del pasado que roe en el futuro”, que *crea* el presente en la nada del futuro “y se hincha al avanzar” (Castex, 1988).

La intuición aquí es la duración, que conserva y arrastra todo nuestro pasado, y construye o crea nuestro futuro. “(El) alma, al avanzar por el camino del tiempo, se infla constantemente de la duración que recoge. (...) Existir, para un ente consciente, consiste en cambiar y nutrirse, crearse indefinidamente a sí mismo”. Prosigue Bergson: “cuanto más profundicemos en la naturaleza del tiempo, más comprenderemos que duración significa invención, creación de formas, elaboración continua de lo (...) nuevo”. Durar significa continuidad indivisible y creación constante. La continuidad cambiante y acumulativa de la conciencia es proyectada o descubierta en la realidad. Es así como Bergson supera la división dualista que aún persistía en su primera etapa.

La *memoria* es la conservación y prolongación del pasado en el presente, es decir, la re-presentación del fenómeno, su duración activa e irrepitable. Algo vivo posibilita la apertura de un registro en que el tiempo se inscribe. La vida es invención, es, al igual que la actividad consciente, una creación

incesante. Es así como Bergson va borrando toda distinción entre vida y conciencia: la evolución orgánica se asemeja a una conciencia, en la que el pasado presiona sobre el presente y hace surgir formas nuevas que son inconmensurables e irreductibles a sus antecedentes, mediante los cuales no era previsible. La vida en general no es algo abstracto en que se inscriben todos los vivientes.

En la abstracción mecanicista es posible calcular con mayor precisión sobre el futuro porque no existe novedad, no se introduce nada verdaderamente nuevo. Los sistemas sobre los que opera el mecanicismo están en un “eterno presente”, que es un presente instantáneo, no en la duración real y concreta, en que el pasado se mantiene y funde con el presente, en que el futuro se crea. Ese eterno presente de los sistemas físicos, es un “tiempo abstracto” en oposición con el “tiempo concreto” en que se desarrollan los procesos: “las ciencias físicas, no retienen de los hechos sino la repetición”. En cambio, en el proceso mismo puede haber contingencia radical, verdadera libertad que escapa a la repetición. El vitalismo es animado por una *exigencia*, el mecanicismo madura por la ambición de aplicar un *método*; en la abstracción mecanicista reina la *necesidad* y los afanes de la estadística.

En resumen, la duración es cambio continuo. No puede lograrse una duración a partir del agregado de partes inmutables. El presente, el ahora, es el momento de la creación, de la transformación de lo que ya existía en algo nuevo. Así, nuestro carácter actual es la condensación de toda nuestra historia en este momento último de su duración. Parece ser que por eso no atravesamos dos veces por el mismo estado de conciencia, aunque las circunstancias pudieran repetirse nuestra propia historia ha cambiado. Aunque nuestro pasado, como tal, es indestructible e inmodificable y el curso de la duración es irreversible, nuestro futuro es imprevisible, pues tenemos en cada nuevo ahora de nuestra historia, libertad de creación. “Estamos condenados a ser libres”, dirá Sartre, es decir, a crear continuamente nuestro presente, a crearnos a nosotros mismos; esto es: “(e)l pasado es esa nada aún resonante. El futuro es esa otra nada coloreada de antemano por nuestros deseos, esperanzas o presagios.” (Cabodevilla, 1982). En esta visión la libertad consiste en la suma de posibilidades de futuro implícitas en el presente y arraigadas en el pasado.

5. Conclusiones

Aún hay algo nuevo, algo inacabado e importante que decir sobre la realidad del tiempo y su verdad. En este trabajo se ha mostrado que existe una tensión significativa entre la imagen científica del tiempo, adoptada desde la tradición determinista en física teórica, y entre la percepción subjetiva del tiempo donde suelen resaltarse nociones de sentido común y de percepción ordinaria. La crítica que hace la segunda postura va enfilada hacia la insuficiencia de las caracterizaciones que hace la tradición determinista, que ha sido la dominante en física teórica, no sólo respecto al problema del tiempo, sino como todo un paradigma, canon o tradición de investigación. Tradicionalmente han habido dos formas de resolver tal tensión; ya sea diciendo que la imagen científica es la imagen epistemológica correcta del mundo (y en particular en lo que atañe al problema del tiempo), lo que conlleva a una sustitución paulatina de la imagen del sentido común; o bien una posición opuesta que sobre la base de un argumento contra el realismo metafísico, rechaza dicha postura.

Tal dualidad confronta al filósofo de la ciencia en torno a dos posturas epistémicas que son a la vez complejas y multidimensionales, cada una posibilitada a ofrecer una representación del problema del tiempo. Llamamos a estas dos vertientes epistémicas la *imagen manifiesta* y la *imagen científica*. Ambas posturas son capaces de ofrecer imágenes o modelos susceptibles de transformar diversas formas de experimentar el mundo mediante objetos o entidades filosóficas críticas conducentes a la reflexión y la evaluación. Es digno de mención que ambas imágenes involucran altos grados de idealizaciones científicas que han iluminado el desarrollo y caracterización de los sistemas físicos.

Es así que el tiempo puede vislumbrarse como una imagen, ficción, criterio conceptual o entidad imaginada, sin atributos ontológicos directos, aunque el proceso crítico o empírico asociado a tal concepción (entendiendo a tal imagen como metáfora de esta concepción) tenga cierto peso ontológico, en tanto que está asociado a las llamadas propiedades temporales de las cosas en el mundo, por ejemplo, la duración, la sucesión y la simultaneidad, tratadas como tales por Kant en sus analogías de la experiencia, que hacen las veces de principios de determinación o constitución de la experiencia.

El sujeto del que Kant hace el análisis trascendental, es un modelo depurado, un sujeto epistémico en estado de absoluta pureza y por lo tanto, aislado de los objetos, del lenguaje y del resto de los sujetos;

es en rigor un sujeto abstracto que cuenta con una estructura innata, la condición pura y a priori de toda experiencia posible: el espacio y el tiempo. El tiempo no es un concepto extraído de la experiencia, sino una representación necesaria que sirve de base a todas las intuiciones; los fenómenos pueden desaparecer, pero el tiempo, como condición pura *a priori* de su posibilidad, no podrá ser suprimido. Si las cosas o los fenómenos externos están en el espacio, los fenómenos también están en el tiempo. El tiempo posee una realidad objetiva no porque pertenezca a las cosas, sino porque su realidad objetiva es puesta por el sujeto trascendental en tanto que condición pura de su posibilidad.

Para adentrarse en el terreno crítico, la entidad que llamamos tiempo puede proveer una instancia o marco referencial, en relación al cual se facilita tal ejercicio crítico y de evaluación teórica. Las categorías de la física teórica no son esencias destiladas del marco referencial de las experiencias perceptuales. Aunado a esto, el tiempo posibilita llevar a cabo mediciones cuantitativas a través de estándares de corrección, relevancia y evidencia. A la entidad temporal le atañen tales refinamientos y sofisticaciones experimentales e instrumentales como un modo de aproximación a los fenómenos en el mundo, por ejemplo, en el canon de la inferencia inductiva en proximidad con la inferencia estadística, añadiendo o restando de los contenidos conceptuales del mundo, en tanto éste es experimentado según las múltiples formas en que lo compartimenta la ciencia física.

El arte de la medida descubre, mediante la experimentación y la intervención en el mundo, la posibilidad de elegir como *medidas* ciertas formas fundamentales empíricas, concretamente fijadas en cuerpos empíricamente rígidos y universalmente disponibles de una manera fáctica, y de determinar intersubjetivamente y de un modo prácticamente unívoco esas otras formas. Es aquí donde pueden situarse las “flechas temporales” o fenómenos canónicos que en física caracterizan una dirección del tiempo.

Todo esto posiciona al tiempo, como instrumento polisémico, en la línea metodológica de búsqueda de correlaciones empíricas y de enunciación de postulados, patrón que ha acompañado históricamente a la empresa científica en una relación dialéctica muy estrecha: “el empirismo necesita ser comprendido y el racionalismo necesita ser aplicado. (...) La ciencia, suma de pruebas y de experiencias, de reglas y de leyes, de evidencias y de hechos, necesita (...) una filosofía con dos polos” (Bachelard, 2003). Cabe aquí decir que la ciencia debe desarrollarse no sólo en el sujeto o en el objeto, sino en su estrecha

interacción. La postulación de hipótesis presupone la explicación de correlaciones, definiéndose así diversas líneas de investigación al interior de una comunidad o tradición científica. Es así que, desde la epistemología, se puede entender y llamar a la imagen científica del mundo, en relación con el tiempo, como “imagen postulacional o teórica”. No es la descripción del mundo desde el exterior, sino desde adentro del universo, pues no hay un afuera evidente.

En su carácter polisémico, existen tantas posturas o imágenes científicas del tiempo como existen disciplinas científicas que tengan que decir algo sobre él. Entonces existe un tiempo, tal cual aparece o es utilizado por los físicos teóricos, que puede ser utilizado como mediador con entidades teóricas como partículas físicas, fuerzas, campos, etc.; también hay un tiempo tal cual es considerado por un neurólogo, por un bioquímico, un científico social, etc.; siendo todas estas imágenes del tiempo susceptibles de ser contrastadas con el tiempo tal cual aparece de manera subjetiva desde consideraciones de sentido común, esto es, desde la imagen epistémica manifiesta.

Al subsumir el tiempo a la imagen científica, se llega a una herramienta heurística o vía metodológica a modo de estructura construida desde diferentes marcos conceptuales o “lugares” y bajo diversos procedimientos al interior de la accesibilidad intersubjetiva del mundo perceptible de las cosas. Estamos ante un constructo teórico, que surge a partir de numerosas imágenes, que se encuentra en estrecha cercanía con la posición que adoptaría un realista científico sobre entidades.

Desde este punto de vista, la entidad temporal ayuda a recrear un nuevo modo de concebir los “objetos externos”, a la manera en que la física teórica o matemática lo hace, ya sea como conglomerado o ensamble de partículas, o como perturbación extendida, primero como vórtice y luego como una colección de campos; esta actitud es adoptada desde el cambio conceptual provisto por la revolución galileana respecto a las abstracciones e idealizaciones que se hacen en la ciencia: el “mundo externo” visto como algo cuya verdadera descripción en sí mismo consiste en un conjunto de formulaciones matemáticas. Es ésta la matematización galileana de la naturaleza, que es idealizada bajo la dirección de una nueva multiplicidad matemática: la geometría del “mundo geométrico de las objetividades ideales” (Husserl, 1984), representa toda la matemática de la espacio-temporalidad. Esta matemática se ocupa de los cuerpos y del mundo material como meras abstracciones, es decir, se focaliza sobre las estructuras abstractas en la espacio-temporalidad, y de ellas sólo en tanto son estructuras-límites

puramente idealizadas. Las variables dinámicas que temporaliza la física, son los parámetros que esta forma de pensar considera como las características de los objetos externos (Husserl, 1984).

La metafísica científica, provista por la epistemología de la imagen científica, considera que el tiempo no es más que una entidad físico-matemática. Esto se encuentra en franca oposición con posturas cercanas a un realismo de sentido común o intuicionista sobre objetos como árboles y sillas o bien sobre propiedades o relaciones temporales como “antes que”, etc. Los detractores de este realismo científico sobre entidades, tienden a magnificar el papel epistemológico que juegan los “sense data”, ya que para la filosofía tradicional estos son considerados como “lo dado”, pues son aquello de lo que en principio estaríamos seguros en tanto que son considerados como independientes de las teorías científicas o marcos conceptuales.

Respecto al concepto de tiempo, el tipo de realismo científico que hemos heredado del siglo XVII es insuficiente y problemático, esto hace resaltar la necesidad de una consideración alterna al determinismo, una concepción que apele al sentido común acerca de objetos materiales corrientes de tamaño medio o macroscópico y sus propiedades temporales; la tensión es entre la imagen dualista del mundo físico y sus cualidades primarias, por un lado, y la imagen de la mente y sus datos de los sentidos o “sensaciones desnudas”, por el otro. En voz de Maritain:

(...) el tiempo real *no es* el tiempo especializado de la física-matemática, sino que el movimiento *no es* una polvoreda de estados que se suceden y se reemplazan los unos a los otros; y la realidad *no es* reductible a reconstrucciones operadas *a posteriori*; la realidad *no es* una reiteración de acontecimientos idénticos; la realidad *no es* esa concatenación de inmovilidades y de elementos ya hechos, sin densidad ontológica interna, ni tendencialidad, ni potencia interna de expansión que el mecanismo imagina (Maritain, 1983).

Y es que el determinismo conlleva un compromiso de una infinitud determinada en sí según todos sus objetos y según todas las propiedades y relaciones de los mismos, y *determinada* de antemano. En este contexto, por “supuestos objetivistas fundamentales” se entiende a) el supuesto de que se puede trazar una clara distinción entre las propiedades que las cosas tienen “en sí mismas” y las propiedades que “nosotros proyectamos”, y b) el supuesto de que la ciencia física nos dice qué propiedades tienen las cosas “en sí mismas”.

Las cosas del mundo circundante intuitivo se mantienen en general y en todas sus propiedades fluctuando alrededor de lo meramente típico; su identidad consigo mismas, su ser-iguales-a-sí-mismas y su igualdad en la duración temporal es un ser-igual meramente aproximado, así como su ser-igual con otras cosas. El tiempo subjetivo es el tiempo de la conciencia, que puede ser abordada como proceso viviente desplegado en el tiempo, pues la vida misma es un efecto tangible del tiempo. La ruina del determinismo no provendría de la física, sino de la biología, pues el sujeto epistémico es sujeto biológico. El aspecto primordial de la conciencia del ser epistémico es la experimentación del mundo mediante su duración temporal, ya que el tiempo es el componente inicial necesario de la conciencia viviente. En esta tónica, conviene insistir en que la conciencia ilumina la zona de potencialidades que rodea al acto, llenando el intervalo entre el acaecer y la potencialidad. El tiempo no consiste en dejar de ser para ser pasado, sino que es el pasado el que va avanzando hacia el presente y empujando hacia el porvenir.

El transcurrir del tiempo subjetivo se va modulando cualitativamente, se enriquece o empobrece al modificar el ahora, empujándolo del pasado hacia el presente; es así que el tiempo se va engendrando. Proyectivamente, el pasado es lo que ya no es real, es algo que pervive en el presente como posibilidad; el futuro va determinando el presente y su traslación hacia el pasado. El tiempo es un todo o un ámbito que se va a realizar. Este tiempo subjetivo y creador se opone al de la interpretación mecánica o reduccionista que sólo retiene del tiempo las simultaneidades a manera de acaeceres estáticos. Los sistemas físicos que atañen al mecanicismo están en un “eterno presente”, que es un presente instantáneo, no en la duración real y concreta, en que el pasado se mantiene y funde con el presente, en que el futuro se crea. Bajo esta visión, se aspira al desplazamiento de la física del ser a la física del devenir, así como el reconocimiento de la no separabilidad.

6. Referencias

- Alexander, H. G. *The Leibniz-Clarke correspondence: together with extracts from Newton's Principia and Opticks*. Manchester, Manchester University, 1956.
- Arjipitsev, F. T. *La materia como categoría filosófica*. México, Grijalbo, 1966.
- Aubert, J. M. *Filosofía de la naturaleza*. Barcelona, Ed. Herder, 1972.
- Bachelard, G. *El compromiso racionalista*. México, Siglo XXI, 1980.
- Bachelard, G. *La filosofía del no. Ensayo de una filosofía de un nuevo espíritu científico*. Buenos Aires, Amorrortu, 2003.
- Balzer, W. *Teorías empíricas: modelos, estructuras y ejemplos. Los elementos fundamentales de la teoría contemporánea de la ciencia*. Madrid, Alianza, 1997.
- Bergson, H. *Matter and memory*. New York, Zone Books, 1988.
- Blumenberg, H. *Tiempo de la vida y tiempo del mundo*. Valencia, Pre-Textos, 2007.
- Bunge, M. A. *A la caza de la realidad. La controversia sobre el realismo*. Barcelona, Gedisa, 2007.
- Cabodevilla, J. M. *Consolación de la brevedad de la vida*. Madrid, Biblioteca de Autores Cristianos, 1982.
- Campbell, J. *Las máscaras de Dios: mitología oriental*. Madrid, Alianza Editorial, 1991.
- Carnap, R. Three-dimensionality of space and causality: an investigation of the logical connection between two fictions. Trad. de Friedman, M.
- Cassirer, E. *Filosofía de las formas simbólicas, I. El lenguaje*. México, Fondo de Cultura Económica, 1998.
- Cassirer, E. *El problema del conocimiento en la filosofía y en la ciencia modernas, II*. México, Fondo de Cultura Económica, 2000.
- Castex, A. *Metafísica del tiempo*. Buenos Aires, Ediciones Carlos Lohlé, 1988.
- Davies, P. C. W. "El caos". En: Preta, L. (comp.). *Imágenes y metáforas de la ciencia*. Madrid, Alianza, 1993. p. 86-106.
- Díaz, J. L. *La conciencia viviente*. México, Fondo de Cultura Económica. 2007.

Feynman, R. P., Leighton, R., y Sands, M. *The Feynman lectures on physics, mainly mechanics, radiation and heat, volume I*. Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, 1963.

Fischer, K. *Galileo Galilei*. Barcelona, Editorial Herder, 1986.

French, S. *Symmetry, structure and the constitution of objects*. Division of History and Philosophy of Science, School of Philosophy, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, 2001.

Friedman, M. *Foundations of space-time theories. Relativistic physics and philosophy of science*. Princeton, Princeton University Press, 1983.

Funkenstein, A. *Theology and the scientific imagination. From the middle ages to the seventeenth century*. Princeton, Princeton University Press, 1986.

Gadamer, H. G. *El inicio de la sabiduría*. Barcelona, Paidós, 2001.

Galindo Tixaine, A. "El tiempo en la física". En: Dou, A. (ed.). *El tiempo. Tiempo, relatividad y saberes*. Madrid, UPCO, 1995.

Hacking, I. *La domesticación del azar. La erosión del determinismo y el nacimiento de las ciencias del caos*. Barcelona, Gedisa, 1995.

Hume, D. *Tratado de la naturaleza humana*. México, Gernika, 2001.

Husserl, E. *Crisis de las ciencias europeas y la fenomenología trascendental*. México, Folios, 1984.

Kant, I. *Primeros principios metafísicos de la naturaleza*. México, UNAM, 1993.

Koyré A. *Estudios galileanos*. México, Siglo XXI, 1985.

Labastida, J. *El edificio de la razón*. México, UNAM-Siglo XXI, 2007.

Lombardi, O. El problema de la ergodicidad en la mecánica estadística. En: *Crítica, Revista Hispanoamericana de Filosofía*. UNAM-IIF. Vol. 35, No. 103 (abril 2003): p. 3-41.

Lombardi, O. "T-invariancia, irreversibilidad, flecha del tiempo: similares pero diferentes". En: Martins, R., Boido, G. y Rodríguez, V. (eds.). *Física: estudios filosóficos e históricos*". Campinas, Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC), 2006. p. 85-117.

Maritain, J. *De Bergson a Santo Tomás de Aquino: ensayos de metafísica y moral*. Buenos Aires, Círculo de Lectores, 1967.

Merleau-Ponty, M. *Fenomenología de la percepción*. México, Fondo de Cultura Económica, 1957.

Poincaré, H. *Science and hypothesis*. New York, Dover, 1952 (1902).

Prigogine, I. *From being to becoming: time and complexity in the physical sciences*. New York, W. H. Freeman and Company, 1980.

Putnam, H. *Las mil caras del realismo*. Barcelona, Paidós, 1994.

Reichenbach, H. *The philosophy of space and time*. New York, Dover, 1958.

Reichenbach, H. *El sentido del tiempo*. México, UNAM, 1959.

Reichenbach, H. *The theory of relativity and a priori knowledge*. Berkeley, University of California Press, 1960.

Reichenbach, H. *Objetivos y métodos del conocimiento científico*. México, Fondo de Cultura Económica, 1996.

Russell, B. *A critical exposition of the philosophy of Leibniz: with an appendix of leading passages*. London, G. Allen & Unwin, 1958.

Sachs, R. G. *The physics of time reversal*. Chicago, University of Chicago Press, 1987.

Sellars, W. "Philosophy and the scientific image of man". En: Colodny, R. (ed.). *Frontiers of Science and Philosophy*. Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 1962. p. 35-78.

Sider, T. *Four-dimensionalism: an ontology of persistence and time*. New York, Clarendon Press-Oxford University Press, 2001.

Sklar, L. *Space, time, and spacetime*. Berkeley, University of California Press, 1977.

Sviderski, V. I. *Espacio y tiempo. Ensayo filosófico*. Montevideo, Ediciones América Nueva, 1960.

Trusted, J. *Physics and metaphysics. Theories of space and time*. London, Routledge, 1991.

Van Fraassen, B. C. *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*. Barcelona, Labor, 1978.

Velázquez, A. "Eternidad, infinito y mundo en Nicole de Oresme". En: Benítez, L., y Robles J. A. (comp.). *El problema del infinito: filosofía y matemáticas*. México, UNAM, 1997. p. 13-40.

Wangsness, R. K. *Campos electromagnéticos*. México, Limusa, 1997.

Whitrow, G. J. *The natural philosophy of time*. Oxford, Clarendon Press, 1980.

Woodward, J. *Invariance, modularity, and all that: Cartwright on causation*. Workshop-Paper Universität Konstanz, 2002. www.uni-konstanz.de/ppm/workshop2/Abstracts.htm

Zeh, H. D. *The physical basis of the direction of time*. Berlin, Springer-Verlag, 1999.

Zubiri, X. *Espacio. Tiempo. Materia*. Madrid, Alianza Editorial, 1996.