

queda de momentos dipolares eléctricos en el neutrón y en diversas moléculas promete clarificar el enigma de cómo se viola la simetría pasado-futuro y qué relación puede tener con la flecha del tiempo en cosmología.

En fin, el resultado del sinnúmero de trabajos sobre el viaje en el tiempo es que no hay nada obvio en las leyes de la física que lo impida en principio, aunque en todos los elementos estudiados los lazos temporales pueden conseguirse sólo manipulando materia y energía de forma extrema²¹⁴.

Ahora bien, por definición, las leyes del universo deben describir una realidad consistente. Si el viaje en el tiempo conduce a paradojas irresolubles, no puede admitirse dentro del marco de la ley física. Si descubriéramos que las teorías actuales más aceptadas permiten viajar al pasado, aunque sea de manera muy limitada e irreal, tales teorías deben quedar bajo sospecha. La perspectiva de la duplicación sin restricciones de objetos hace que nuestras mentes se tambaleen, y echa por tierra algunas leyes apreciadas de la física, como la ley de la conservación de la energía.

S. Hawking ha propuesto una "hipótesis de protección cronológica", según la cual la naturaleza hallará siempre un modo de impedir que los agujeros de gusano y otras construcciones imaginarias permitan el viaje al pasado²¹⁵. Si nuestros descendientes descubren algún día cómo hacerlo, volverán y nos visitarán. Como no vemos de hecho a estos crononautas, podemos concluir que nunca llegarán a existir. S. Hawking usaba este razonamiento para apoyar su hipótesis de protección cronológica, comentando que "no hemos sido invadidos por hordas de turistas procedentes del futuro". La cuestión de fondo en este asunto es de qué tipo de futuro y de pasado se habla. Desde luego, no del cronológico tal como hemos pretendido describirlo.

214. Cf. Id., pp. 254-257. En el fondo, las ideas que subyacen a la posibilidad de construir una hipotética máquina del tiempo son que el mundo y la historia están determinados causalmente y que el tiempo es reversible.

215. S. HAWKING, "Chronology Protection Conjecture" en *Physical Review* 46 (1992) 603, citado por Id., p. 259.

CAPÍTULO IV

Concepto sagital

Tengo la impresión de que hay serias discrepancias entre lo que sentimos conscientemente, con relación al flujo del tiempo, y lo que nuestras teorías (maravillosamente precisas) afirman sobre la realidad del mundo físico. Seguramente estas discrepancias nos están diciendo algo profundo acerca de la física que presumiblemente debe subyacer a nuestras percepciones conscientes –suponiendo (como creo) que lo que subyace a estas percepciones sea inteligible mediante algún tipo apropiado de física–. Al menos parece evidente que, cualquiera que sea la física que esté actuando, debe tener un ingrediente esencialmente tiempo-asimétrico, esto es, debe hacer una distinción entre pasado y futuro.

R. PENROSE, *La Nueva Mente del Emperador* (Madrid, 1991), p. 381.

Cuando pasamos de la mecánica, sea newtoniana, sea relativista, a la termodinámica²¹⁶, t pierde el carácter de reversible y lo sustituye por los de la asimetría y el estar dotado de un sentido único. Comparte los caracteres del tiempo cronológico en cuanto que se reduce a medida. Pero si se habla de su carácter sagital, es decir, en cuanto dotado de un sentido, de eso que se ha denominado flecha, se le confieren rasgos cualitativos peculiares y se diferencia radicalmente del cronológico, puesto que lo verdaderamente importante en este concepto es que hablamos de un tiempo espacializado por partida doble, a saber, en cuanto medida y en cuan-

216. La descripción física de los fenómenos irreversibles testimoniados por la experiencia ordinaria nos la da la termodinámica, que es la ciencia general que estudia los procesos de intercambio de materia y energía entre el mundo exterior y una parte delimitada por una superficie cerrada real o ficticia denominada sistema termodinámico. Los sistemas termodinámicos pueden ser aislados (no intercambian con el exterior ni energía ni materia), cerrados (pueden intercambiar energía, pero no materia con el ambiente) o abiertos (pueden admitir o expulsar materia y energía). Cf. P. COVENEY, *o.c.*, pp. 81-82.

to dotado de sentido. A las notas del tiempo cronológico opondría su carácter irreversible y heterogéneo, puesto que goza de lugares privilegiados por el mismo hecho de poseer un sentido privilegiado.

La distinción entre fenómenos reversibles e irreversibles, introducida en física por Carnot, Clausius y Boltzmann, pone en claro nuevos aspectos de esta experiencia y desvela la base objetiva de ésta²¹⁷. Las pérdidas del potencial de energía disponible y la tendencia al aumento de la entropía del universo posibilitan la distinción entre un "antes" objetivo y un "después" objetivo que se sitúan a ambos lados de un "presente" objetivo. Por consiguiente, parece que esta irreversibilidad nos posibilita hablar de un flujo del tiempo, de una flecha del tiempo. No es extraño que esta irreversibilidad de los sucesos físicos definidos haya sido aceptada en general por los físicos y los filósofos como capaz de ser un testimonio crucial de que las modalidades "tiempo pasado", "tiempo presente" y "tiempo futuro", que implican un sentido definitivo e irreversible, son aspectos fundamentales del "tiempo objetivo", es decir, que lo que todos sabíamos no puede ser ya negado por la física, parafraseando a Prigogine²¹⁸. En su obra *The Nature of Physical World*, Eddington indica que adopta la expresión "flecha del tiempo" para expresar esta propiedad unidireccional del tiempo, que no existe ni por analogía respecto del espacio. Al añadir que lo más peculiar del tiempo es que "corre", subraya que la inversión del sentido de la flecha transformaría el mundo exterior en un sinsentido²¹⁹. Además, para Eddington, la flecha del tiempo es exclusivamente una propiedad de la entropía.

En efecto, el segundo principio de la termodinámica implica un devenir irreversible: todo sistema cerrado tiende hacia un estado de desorden total o caos, identificado con el equilibrio termodinámico, es decir, la energía del mundo es constante y propende a degradarse en calor, tendiendo hacia el cero absoluto. La medida de esta irreversibilidad es la entropía, que introduce la flecha del tiempo y en virtud de la cual queda definido el sentido temporal de los fenómenos físicos. La energía térmica no se vuelve a transformar en energía mecánica (movimiento). La segunda ley de la termodinámica propone que la temperatura va siempre de un cuerpo con mayor calor a otro con menor calor, hasta el equilibrio térmico.

217. Cf. X. DE HEMPTINNE, *Past Events Never Come Back*, en P.J.N. BAERT (ed.), o.c., pp. 114-115.

218. "El descubrimiento de la multiplicidad de tiempos no es una 'revelación' surgida de repente en la ciencia; muy al contrario, los hombres de ciencia han dejado hoy de negar lo que, por así decirlo, cada uno sabía". I. PRIGOGINE e I. STENGERS, *La Nueva Alianza* (Madrid, 1983), p. 263.

219. Cf. J. WITT-HANSEN, *El Futurólogo*, en P. RICOEUR, A. TOYNBEE y otros, o.c., p.289.

Este proceso, a diferencia de lo que ocurría con los pertenecientes a la dinámica, no es totalmente reversible; si la entropía indica una flecha del tiempo, el futuro está en la dirección en la cual la entropía aumenta, es decir, la degradación transcurre hacia el futuro. Además, la asimetría impuesta en el mundo por las leyes de la termodinámica implica una direccionalidad lógica. Muchos estados iniciales conducen a un mismo estado final, mientras que la retrodicción no tiene una respuesta única. La flecha lógica es similar a la aritmética (a 89 puedo llegar a través de muchas sumas diferentes).

En los sistemas aislados próximos al equilibrio, las fluctuaciones se atenúan progresivamente hasta que el sistema vuelve a su estado inicial. I. Prigogine ha estudiado los sistemas disgregadores lejanos al equilibrio que, como sistemas abiertos, reciben del exterior energía que se traduce en un aumento de organización (negentropía)²²⁰. En ellos la flecha del tiempo asume una posición central. A diferencia de los sistemas cercanos al equilibrio, en los sistemas disgregadores incluso una pequeña fluctuación puede ampliarse y superar los parámetros del sistema hasta hacerle asumir una condición macroscópica nueva tan imprevisible como lo es la fluctuación inicial, de tal modo que cabría decir que el orden tiene su origen en el caos. Para Prigogine, todo sistema pasa por una sucesión de regiones estables, en las que dominan las leyes del determinismo, y de regiones inestables cercanas al punto de bifurcación, en las que el sistema puede elegir entre varios futuros posibles. Tal mezcla de azar y necesidad es lo que constituye la historia del sistema²²¹.

De este modo, la segunda ley de la termodinámica no conduce sólo a una degradación de la energía, sino que, en los sistemas disgregadores, la entropía puede ser fuente de organización. De ahí la paradoja: mientras que el universo camina hacia el equilibrio térmico, parte de él se mueve hacia grados más avanzados de complejidad y autoorganización. De hecho, es lo que ocurre con la evolución biológica. Pero la autoorganización espontánea no tiene por qué entrar en conflicto con la segunda ley de la termodinámica: se trata de sistemas termodinámicos abiertos que intercambian materia y energía con el exterior, cuyos procesos termodinámicos engendran siempre entropía como un producto secundario, precio que hay que pagar por conseguir el orden a partir del caos. Por eso el tiempo, para Prigogine, es una realidad, la realidad que hace posible la existencia de la vida y del hombre. En esta versión de la termodinámica

220. Cf. C. MATAIX, "Tiempo, Indeterminismo y Totalidad" en *Anales del Seminario de Metafísica*, num. extra (1992) 806-812.

221. Cf. I. PRIGOGINE e I. STENGERS, *La Nueva Alianza...*, pp. 166-187.

el futuro no es concebido de manera determinista, sino que se interpreta sólo como probabilidad en la que el azar tiene un papel fundamental²²².

A la idea de la irreversibilidad del tiempo observable se le han puesto objeciones. Tal es el caso del teorema de recurrencia de Poincaré²²³, según el cual la contigüidad de cualquier estado de un sistema aislado volverá a ser visitado un número infinito de veces. El intervalo entre dos pasos en la contigüidad de un mismo estado o "tiempo de recurrencia" tiene, en el caso de los sistemas macroscópicos, una longitud de $10^{10^{23}}$, inasible al entendimiento, pero esto basta para que no se pueda considerar imposible una disminución de la entropía, la cual puede hacer fracasar el segundo principio, en tanto que se postula un comportamiento cíclico del sistema en una larga escala de tiempo. Según esto, podría decirse que, en un sistema cerrado, la entropía *muy probablemente* aumentará, si bien el mundo necesitaría un tiempo inimaginablemente largo para retornar a su estado actual. Además, esta ciclicidad implica no una periodicidad exacta, sino simplemente una recurrencia estadística. De la misma opinión es Reichenbach, para quien

la dirección de los problemas físicos y, con ella, la dirección del tiempo se explica en tanto que una tendencia estadística; el acto de devenir es una transición de una configuración improbable de las moléculas a una configuración probable (...). Esta interpretación de la dirección del tiempo (...) representa, de suyo, el núcleo de la teoría del flujo del tiempo²²⁴.

En cualquier caso, aun cuando la mecánica newtoniana y la mecánica cuántica no relativista admitan ciertos teoremas de recurrencia como consecuencia de sus leyes –puede demostrarse que los sistemas "permanentemente finitos" que se derivan de las leyes de la dinámica clásica o de la física cuántica no relativista deberán volver repetidas veces a un esta-

222. La ley del aumento de la entropía pudiera ser la manifestación macroscópica de un hecho cuántico, pero no se ha podido demostrar que exista esta conexión. Si ésta se pudiera probar habría de basarse en el concepto de probabilidad, aún más oscuro que el de la dirección del tiempo que se trata de justificar. Cf. C. SÁNCHEZ DEL RÍO, *El Tiempo en Física*, en AA.VV., *Simposio sobre el Tiempo*, p. 32.

223. El teorema de recurrencia de Poincaré tiene en su base dos hipótesis: la primera, que la energía se conserva; la segunda, el postulado de que el volumen del espacio de fases total disponible para el sistema es finito y acotado.

224. H. REICHENBACH, *The Direction of Time* (Berkeley, 1956), p. 55. Siguiendo la hipótesis fundamental de la mecánica estadística puede decirse que un cuerpo dejado a su ser evoluciona espontáneamente hacia el estado macroscópico que corresponde a una probabilidad máxima. Esta hipótesis mencionada equivale al crecimiento de la entropía, que es proporcional al logaritmo de la probabilidad, e incluye, por tanto, la direccionalidad del tiempo. Cf. C. SÁNCHEZ DEL RÍO, *o.c.*, p. 31.

do previo–, las leyes de la relatividad general y de la gravedad cuántica no permiten que el universo en su conjunto sea "permanentemente finito".

Además, hemos distinguido entre sistemas abiertos, cerrados y aislados. Lo dicho hasta aquí se aplica a sistemas aislados, que no reciben energía del exterior. Se supone que el universo es globalmente un sistema cerrado, pero ¿es de hecho así?

La flecha del tiempo, como tal, no describe el flujo del tiempo, sino la asimetría del mundo físico en el tiempo. La existencia de una flecha del tiempo, no obstante, no descarta un flujo del tiempo. Si el tiempo fluye, lógicamente tendrá que ser en la dirección indicada por la flecha. El tiempo podría fluir desde el futuro hacia el pasado y un observador vería los sucesos fluyendo hacia atrás con respecto a nuestra experiencia del mundo. Pero si el flujo está en nuestra mente, es probable que su dirección coincida con la flecha del tiempo, puesto que la flecha determina la direccionalidad de los procesos termodinámicos del cerebro. Si es así, decir que el tiempo fluye hacia atrás cuando se invierte la flecha del tiempo es correcto si por ello se entiende que el tiempo parece fluir hacia atrás²²⁵. Esta flecha apunta, por convenio, hacia el futuro, sin que esto implique la existencia de una región de tiempo –el futuro– del mismo modo que no entendemos que exista un lugar concreto –el norte– cuando decimos que la aguja de la brújula apunta hacia el norte. También puede caerse en un subjetivismo trascendental, afirmando que la entropía es subjetiva en el mismo sentido en el que lo es una constelación. Lo que es ordenado es objetivo, como lo son las estrellas que componen una constelación o como lo es el color; pero la asociación de estas estrellas es la contribución aportada por la mente que las contempla.

En esta línea, hay quien ha defendido que el tiempo no tiene en sí necesariamente una flecha, una dirección privilegiada, sino que la tiene *para nosotros*, a causa de las condiciones en que nos encontramos, puesto que el mundo que vemos, experimentamos, estudiamos no puede ser concebido más que *sub specie irreversibilitatis*. La flecha del tiempo puede quizá no existir en la naturaleza, pero ciertamente existe en nosotros. Y cuando nosotros hablamos del mundo no podemos hablar más que del modo en que lo vemos y lo percibimos²²⁶. En cualquier caso, la flecha del tiempo, como la de la brújula, indica una dirección en la cual la sucesión de acontecimientos es irreversible, desde un antes a un después, sin que pueda modificarse este orden.

225. Cf. P. DAVIES, *o.c.*, pp. 266-267.

226. Cf. C. GIORDANO, *Arthur Stanley Eddington e la "Scoperta" della Freccia del Tempo* en G. CASERTANO (ed.), *o.c.*, p. 231.

J. Mehlberg ha puesto en entredicho la legalidad de la flecha del tiempo. En su opinión, las teorías físicas que fundan nuestro saber sobre el universo y, en particular, sobre el tiempo, no dicen nada a propósito de la flecha del tiempo, y ello es únicamente debido a que el tiempo no tiene flecha²²⁷. Todas las leyes de la física son invariantes por relación a la inversión del tiempo (sustitución de t por $-t$); de este modo, la anisotropía constatada en la naturaleza parece tener un carácter no nomológico, sino solamente factual, en cuanto que supone determinadas condiciones iniciales que hubieran podido ser diferentes, pues ninguna ley se opone a ello.

227. Cf. J. MEHLBERG, *Laws of Nature and Time's Arrow*, 1961-1969, en J. MEHLBERG, *Time, Causality and the Quantum Theory. Studies in the Philosophy of Science* (Dordrecht, 1980), vol. II, p. 157. La mecánica newtoniana, la teoría de la relatividad, la mecánica cuántica y la teoría de cuerdas no distinguen entre pasado, presente y futuro.

CAPÍTULO V

Concepto trascendental

Es ist uns, als müßten wir die Erscheinungen *durchschauen*: unsere Untersuchung aber richtet sich nicht auf die *Erscheinungen*, sondern, wie man sagen könnte, auf die "Möglichkeiten" der Erscheinungen.

L. WITTGENSTEIN, *Investigaciones Filosóficas* (Barcelona, 1988), § 90.

Hablar del tiempo trascendental es referirse a la concepción defendida por Kant, quien dota al término de los caracteres de absoluto, exterior a los fenómenos, independiente de ellos y condición de posibilidad de los mismos en cuanto tales. La filosofía trascendental del tiempo contenida en la Estética Trascendental, es, en palabras de M. Sandbothe, la Carta Magna de la moderna filosofía del tiempo²²⁸. Claramente, el tiempo kantiano no es un tiempo psicológico, como el de Hume, sino que se trata más bien de un tiempo análogo al tiempo absoluto de Newton trasladado al interior del individuo. Tiempo y espacio no son *qualia*, sino que

espacio y tiempo son *quanta continua* por el hecho de que no puede darse ninguna parte suya que no esté comprendida entre unos límites (puntos o instantes) y que, consiguientemente, no constituya, a su vez, un espacio o un tiempo. El espacio sólo se compone, pues, de espacios, y el tiempo, de tiempos²²⁹.

228. Cf. M. SANDBOTHE, *The Temporalization of Time in Modern Philosophy*, en P.J.N. BAERT (ed.), *o.c.*, p.23.

229. I. KANT, *Crítica de la Razón Pura* (Madrid, 1978), A 169, B 211. Las ideas fundamentales de Kant a propósito del espacio y el tiempo están ya delineadas en la sección III de su famosa Disertación de 1770, *De Mundi Sensibilis atque Intelligibilis Forma et Principiis*, publicada en castellano con el título *Principios Formales del Mundo Sensible y del Inteligible*, Madrid, CSIC, 1996.