

José Granés S.

El tiempo de la física. Lo absoluto y lo relativo

Si nos aclaramos acerca de qué es un reloj, con ello adquiere vida la forma de comprensión propia de la física y la forma en que el tiempo tiene oportunidad de manifestarse¹.

Martin Heidegger



ada disciplina, según su objeto de estudio, los métodos que ha desarrollado para investigar ese objeto y las finalidades que persigue, acuña y utiliza un concepto de tiempo que le es propio. Aunque al comparar esos conceptos podríamos encontrar un mismo “aire de familia” que seguramente remite, en último término, a la experiencia humana de la temporalidad y a las vivencias subjetivas pero cotidianamente compartidas del transcurrir del tiempo, descubriríamos con seguridad en todos ellos un sinnúmero de diferencias. Podríamos, por ejemplo, preguntar, con la certeza de encontrar respuestas muy distintas, por el lugar –primordial o secundario– que el concepto ocupa en la estructura teórica de la disciplina, por el grado de precisión o de formalización conceptual que ha alcanzado, por la fuerza de sus articulaciones con otros conceptos, por su utilidad descriptiva y empírica, por las formas de su cuantificación y de su medición, etc.

Heidegger proponía, en un texto escrito en 1915², un criterio para indagar por la estructura más básica del concepto de tiempo en las disciplinas: explorar la relación del concepto con las finalidades propias de cada ciencia. Así, por ejemplo, para el caso de la historia Heidegger se pregunta: “¿Qué estructura tiene que tener el concepto de tiempo en la ciencia histórica para poder entrar en función como concepto de tiempo de acuerdo con la finalidad de esta ciencia?”

¹ Martin Heidegger “El concepto de tiempo”. Este texto, traducido por Raúl Gabás Pallás y Jesús Adrián Escudero, puede encontrarse en la página de Internet “Heidegger en castellano”: <http://www13.brinkster.com/heidegger/index.htm>.

² Martin Heidegger, “El concepto de tiempo en la ciencia histórica”, clase de habilitación dada el 27 de julio de 1915 en la Facultad de Filosofía de la Universidad de Friburgo de Brisgovia. Publicada por primera vez en *Zeitschrift für Philosophie Kritik*, Band 161, Leipzig, 1916, pp. 173-188. Una traducción de este texto realizada por Elbio Caletti aparece en la página de Internet “Heidegger en castellano”: <http://www13.brinkster.com/heidegger/index.htm>. Las citas han sido tomadas de este último texto.

THE TIME OF PHYSICS. THE ABSOLUTE AND THE RELATIVE

This article starts with an exploration of the connection between the specific form of knowledge in physics, on the basis of universal laws, and the most general traits of the concept of time as it is used in that discipline. After this characterization, the article examines several versions of absolute and relativistic conceptions of time and proceeds to compare them.

LE TEMPS DE LA PHYSIQUE. L'ABSOLU ET LE RELATIF

L'article explore tout d'abord la connection existante entre la forme spécifique du savoir propre de la physique, sur la base de lois universelles ainsi que les traits plus généraux du concept de temps tel qu'on l'utilise dans cette discipline. En se basant sur cette caractérisation, le texte explicite différentes conceptions absolutistes et relativistes du temps, pour les contraster entre elles.

EL TIEMPO DE LA FÍSICA. LO ABSOLUTO Y LO RELATIVO

El artículo explora, en un primer momento, la conexión que existe entre la forma específica de conocer, propia de la física, sobre la base de leyes universales, y los rasgos más generales del concepto de tiempo, tal como se usa en esta disciplina. Sobre la base de esta caracterización general, se explicitan distintas versiones de concepciones absolutistas y relativistas del tiempo y se contrastan entre sí.

En la pregunta va implícita la idea de una conexión necesaria entre la estructura del concepto y la finalidad de la disciplina. La pregunta sugiere además un método para abordar el concepto: indagar primero por la finalidad de la disciplina y buscar luego la conexión del concepto con esta finalidad.

A título de ejemplo, y con el propósito de poder hacer más adelante comparaciones con la estructura del tiempo en la física, podríamos intentar aplicar el criterio de Heidegger a dos disciplinas que, con relación al uso y a la importancia del tiempo, parecerían ocupar lugares nítidamente opuestos: la matemática y la historia. La matemática —esto se ha dicho muchas veces— crea autónomamente sus propios objetos de estudio. Son en principio objetos ideales, desconectados esencialmente del mundo de la experiencia empírica y ajenos a las constricciones que impone el mundo natural. Se trata, por eso mismo, de objetos eternos o, tal vez mejor, atemporales, situados por fuera de las dimensiones empíricas de espacio y tiempo, básicas en toda experiencia sensible³. La finalidad de la matemática consiste principalmente en la creación y el estudio de las relaciones y estructuras posibles entre esos objetos. Es por eso explicable, a la luz del criterio de Heidegger, que el tiempo sea un concepto esencialmente ajeno a esa disciplina.

La historia en cambio, según el propio Heidegger, tiene como objeto al hombre en tanto que, a través de sus producciones, realiza la idea de cultura. La creación cultural en su extraordinaria multiplicidad transcurre en el tiempo. De todo este cúmulo de producciones, al historiador le interesa lo "históricamente efectivo" desde la perspectiva del presente. Es necesario por eso realizar una selección a partir de algún punto de vista. El historiador debe inclinarse desde el presente hacia las particularidades únicas de un pasado seleccionado según el punto de vista adoptado. La historia tiene su objeto en el pasado y los tiempos pasados de la historia se distinguen cualitativamente unos de otros. Por tanto, el concepto de tiempo histórico no tiene el carácter de homogeneidad que posee en otras disciplinas. Los momentos del tiempo histórico son cualitativa y estructuralmente distintos. También, claro está, en la historia el tiempo se cuantifica, pero esta cuantificación sólo tiene sentido para situar un acontecimiento en un "contexto histórico cualitativo", del cual puede derivar su particular significado.

EL TIEMPO EN LA FÍSICA

La física estudia el desenvolvimiento de cierto tipo de procesos naturales. Por eso el tiem-



Miniatura, s. xiv. U. de Heidelberg.

po —al igual que el espacio— constituye una dimensión fundamental para la descripción de los fenómenos en esta disciplina. Pero, ¿cómo aborda la física el estudio de los procesos? ¿Cuál es, como preguntaría Heidegger, su finalidad esencial? Desde Galileo, este estudio se aborda desde la perspectiva de la ley universal. Más que la descripción empírica pormenorizada de fenómenos particulares, la física se propone expresar lo universalmente válido en todos ellos por medio de una ley matemática general. Se trata entonces, por lo menos en un primer momento, de borrar lo particular, lo individual, lo específico y aprehender, poniendo en juego métodos diversos, lo que el fenómeno tiene de universal en una ley. El costo de esta iniciativa es la abstracción, la desaparición de las cualidades sensibles que cualquier fenómeno posee cuando se percibe desde la cotidianidad. El experimento, esa forma privilegiada de corroboración en la física, tiene que realizarse necesariamente sobre lo particular; sin embargo, a través del diseño cuidadoso y de una realización técnica que asegure la reproducibilidad de los resultados, se procura que lo particular logre manifestarse predominantemente en lo que tiene de universal.

A Galileo no le interesa estudiar las particularidades de la caída de la piedra que reposa en su mano, sino las regularidades del fenómeno del movimiento de caída en general. En los experimentos

³ Podría alegarse, naturalmente, que la geometría, por lo menos en su forma euclidiana, es una disciplina espacial. Pero cabría preguntar: ¿Es el espacio de la geometría el mismo espacio de la experiencia empírica? Los puntos, las líneas rectas, los planos, las figuras de la geometría, ¿son objetos empíricos? No cabe duda de que la intuición empírica del espacio ayuda a crear esos objetos y a estructurar sus relaciones, pero también es cierto que en su forma más abstracta, como teoría propiamente matemática, la geometría busca independizarse de esos nexos con la experiencia sensible. Por eso procura formalizarse hasta el punto de poder proceder sin recurrir a representaciones espaciales o extenderse a espacios abstractos de más de tres dimensiones.

experimentos que diseña para contrastar los resultados que él espera según la ley que él mismo ha encontrado con la caída real de un cuerpo, se cuida de que en esta última caída sólo se manifieste lo que hay de común en todas las caídas posibles. Por eso pule las esferas, cubre los planos inclinados con pergaminos que minimicen la fricción, aplica, en fin, toda la técnica que tiene a su alcance para eliminar lo particular. Sólo en un segundo momento, ya en posesión de la ley general, la física retorna sobre lo particular para determinarlo, desde una nueva perspectiva, como un caso de aplicación de la ley universal.

La ley general aprehende el cambio, el proceso, en una forma atemporal. Podría decirse que la ley quiere expresar lo que en el cambio es eterno. Lo que cambia queda captado así de manera esencial en lo inmutable. Es como si la física, en su forma moderna de comprender los fenómenos, reeditara la separación platónica entre la apariencia variable y la esencia inmutable. Por eso a la física, contrariamente a lo que ocurre con la historia, no le interesa el pasado. La ley no tiene pasado; se encuentra, como ocurre con los teoremas de la matemática, por fuera del tiempo. Expresa, si se quiere, el eterno presente de una regularidad sin fisuras. Sin embargo, en la expresión matemática de la ley –piénsese por ejemplo en la ley de caída de Galileo que se podría expresar en fórmulas bien conocidas como $v = gt$ o bien $s = 1/2gt^2$ – interviene muchas veces el tiempo, designado aquí por la letra t , como una variable más. Comparado con el de la historia, este tiempo de la física es un *quantum* abstracto. No tiene más cualidades que la continuidad y la homogeneidad local que hace que, por lo menos en intervalos no demasiado extensos, las partes que lo componen sean idénticas unas a otras. Estas particularidades son, entre otras cosas, las que lo hacen medible. Este tiempo abstracto de la física podría pensarse como un simple parámetro de orden que permite organizar en una sucesión continua, los distintos momentos del fenómeno.

Fue también Galileo quien por primera vez utilizó en la física de manera eficaz –con un gran éxito predictivo– esta idea de un tiempo abstracto, continuo, homogéneo y medible. En sus estudios clásicos sobre la persistencia del movimiento horizontal uniforme de un móvil libre de fuerzas, sobre el movimiento de caída de los cuerpos y sobre el movimiento de proyectiles, el tiempo es tratado como una variable geométrica, útil para la descripción del movimiento⁴. Incluso, en sus análisis, Galileo lo representa co-

mo una línea recta que puede subdividirse en intervalos. El tiempo, al igual que el movimiento, se matematiza o, más exactamente, se geometriza.

Las características que hemos descrito comprenden los elementos estructurales más generales y más básicos del concepto de tiempo tal como pueden derivarse de esa manera particular de conocer que ha llegado a decantarse en la física: el conocimiento bajo la forma de leyes que se conciben como universales y necesarias. Ahora bien, esta forma general del tiempo se expresa de distintas maneras en las grandes teorías de la física desde Galileo; recubre, si se quiere, numerosas concepciones distintas sobre el tiempo y el espacio que se han ido desarrollando a lo largo de la historia de la disciplina. Nos proponemos examinar, desde una perspectiva más filosófica que técnica, la oposición entre dos de los tipos de concepción más importantes sobre el tiempo: las concepciones absolutistas y las concepciones relativistas.

EL TIEMPO COMO REALIDAD ABSOLUTA

En los tiempos modernos, Isaac Newton abre una polémica que se prolongará por más de dos siglos sobre lo absoluto y lo relativo en el tiempo, el espacio y el movimiento, al proponer, en un célebre *escolio* de los *Principia*, sus conceptos de espacio y tiempo absolutos y al intentar hacer de esos conceptos un fundamento para el sistema de la nueva mecánica.

Entre las obras científicas de Newton, el *escolio* sobre el espacio y el tiempo es una de las páginas más explícitamente metafísicas. Comienza planteando la necesidad de distinguir en filosofía, para evitar errores y prejuicios, entre lo verdadero y lo aparente, lo matemático y lo vulgar, lo absoluto y lo relativo:

Tiempo, espacio, lugar y movimiento son palabras conocidísimas para todos. Es de observar, con todo, que el vulgo sólo concibe esas cantidades partiendo de la relación que guardan con las cosas sensibles. Y de ello surgen ciertos prejuicios, para cuya remoción será conveniente distinguir allí entre lo absoluto y lo relativo, lo verdadero y lo aparente, lo matemático y lo vulgar⁵.

Más adelante, hacia el final del *escolio*, empleando incluso una formulación más mordaz, Newton advierte de nuevo sobre los peligros de confundir en asuntos de filosofía lo absoluto y lo relativo:

Por consiguiente, las cantidades relativas no son las cantidades mismas, cuyos nombres llevan, sino medidas sensibles de ellas (precisas o imprecisas) que se usan habitualmente en su lugar... Y no contaminan menos la matemática y la filosofía quienes confunden

⁴ Estos estudios se encuentran en la tercera jornada de las *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, de Galileo Galilei. Existe una edición en español de esta obra en Editora Nacional, Madrid, 1976. Las figuras han sido tomadas de esta edición.

⁵ Isaac Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Madrid: Editora Nacional, 1982. Escolio sobre el espacio y el tiempo, pp. 228-235.

las verdaderas cantidades con sus relaciones y medidas sensibles.

En estos textos⁶, Newton hace suya la tradición metafísica que escinde lo verdadero de lo sensible, reduciendo esto último a la categoría de apariencia. Según esta idea, es necesario trascender esas apariencias sensibles para llegar a lo verdadero que será también para Newton, si nos atenemos a este texto, lo absoluto y lo matemático.

Hechas las advertencias del primer párrafo, Newton pasa a caracterizar el tiempo absoluto, en una formulación extraordinariamente sintética: “El tiempo absoluto, verdadero y matemático, en sí y por su propia naturaleza sin relación a nada externo fluye uniformemente, y se dice con otro nombre duración”. Y lo contrasta, a renglón seguido, con el tiempo relativo: “El tiempo relativo, aparente y vulgar es alguna medida sensible y exterior (precisa o desigual) de la duración mediante el movimiento, usada por el vulgo en lugar del verdadero tiempo; hora, día, mes y año son medidas semejantes”.

Newton habla del “tiempo absoluto, verdadero y matemático” como si estuviera enumerando las características de un objeto. Éste es, en efecto, el primer rasgo sobresaliente de su concepción: el tiempo *a*: oluto es pensado como una realidad exterior al hombre, objetivamente existente. Además, los atributos de este tiempo –su homogeneidad, su fluir continuo e incesante, su direccionalidad– no dependen sino de su propia naturaleza. El tiempo es una realidad única y autosuficiente que no puede ser influenciada ni variada por nada exterior a ella misma. Es en este sentido que el tiempo es un absoluto⁷. Es además una realidad inmaterial que, sin embargo, sirve de sustento a los cambios de la materia que no podrían ocurrir en modo alguno sin su existencia previa. En una forma similar, la existencia previa del espacio absoluto es necesaria para que la materia pueda ubicarse en los lugares en que se halla. Tiempo y espacio absolutos se constituyen así, dentro de esta concepción, en fundamentos de toda realidad material. Habría que decir, posiblemente, que el tiempo es Dios mismo o alguna emanación directa de Dios, de manera semejante al espacio que era pensado por Newton como un “sensorio de Dios”⁸.

En esta concepción grandiosa, Newton nos está hablando de los fundamentos metafísicos del mundo material que no pueden ser soslayados al construir una física. Estos fundamentos tendrán que ser también los fundamentos metafísicos de la física. La originalidad de Newton consistió precisamente



Cancionero de Heidelberg de poesías de los Minnesänger. Miniatura, s. xiv, U. de Heidelberg.

en articular las leyes de movimiento con estas ideas absolutas de tiempo y espacio. Desde entonces (1687, año de publicación de los *Principia*) hasta 1905 (año de la publicación del artículo sobre la teoría de la relatividad especial de Einstein), la mecánica –y de hecho toda la física– quedó prisionera de esos conceptos absolutos⁹.

La gran paradoja de la concepción newtoniana es que esos fundamentos ineludibles de lo real –el tiempo y el espacio absolutos– escapan por completo a la percepción sensible, a la medición y, de hecho, a toda experiencia humana. Por eso, al experimentar con los cuerpos para establecer las leyes de la física, se hace necesario recurrir a tiempos y espacios relativos. El “tiempo relativo, aparente y vulgar” tiene por lo menos la ventaja de ser una “medida sensible” de la duración “mediante el movimiento”. Los movimientos para medir las duraciones, que desempeñan de hecho el papel de relojes, pueden ser de muy diversa índole. Los movimientos de la Tierra y de la Luna permiten medir años, meses y días. Sin embargo, no existe seguridad alguna de que estos relojes “marquen” el tiempo absoluto. Newton lo advierte de manera explícita: “Es posible que no exista un movimiento uniforme con el cual medir exactamente el tiempo. Todos los movimientos pueden ser acelerados o retardados, pero el flujo del tiempo absoluto no puede ser alterado”.

En la práctica, el tiempo absoluto representará el papel de una idea reguladora con relación al tiempo empírico. Las cualidades supuestas para el tiempo absoluto servirán

de referencia

⁶ El texto del escolio es singular dentro de la obra científica de Newton. No sería difícil encontrar contradicciones entre la tendencia claramente metafísica que se expresa aquí y otros escritos de tendencia mucho más empirista en los cuales Newton considera la experiencia sensible como la base firme cuyo análisis inicia la investigación y la experiencia depurada del experimento como la instancia por excelencia de corroboración. Véase, por ejemplo, el texto sobre el método de análisis y síntesis en la cuestión 31 de *Optica*. Sir Isaac Newton, *Optica*, Madrid: Alfaguara, 1977, p. 349.

⁷ Conviene señalar que esta concepción de tiempo no es original de Newton. En su formulación fue influenciado sobre todo por su colega en Cambridge Isaac Barrow, de quien heredó también la Cátedra Lucasiana. Basta traer una cita de Barrow para apreciar la similitud de concepciones: “Time does not imply motion, as far as its absolute and intrinsic nature is concerned; not any more that it implies rest; whether things move or are still, whether we sleep or wake, time pursues the even tenour of its way”. La originalidad de Newton consistió en articular esta concepción a la física. Véase Barrow, *Lectiones Geometricae*, London: 1735, Lect. 1, p. 35, citado en J. T. Fraser, F. C. Haber, G. H. Müller (Eds.) *The Study of Time*, Springer-Verlag, 1972, p. 8.

⁸ La expresión aparece en la cuestión 31 de *Optica*, op. cit., p. 348.

⁹ Lo absoluto no subsistió, sin embargo, en la física exactamente como lo pensó Newton. Por ejemplo, la idea del sistema referencial del espacio absoluto, tan evidentemente metafísica, se reemplazó por la de sistema inercial. No obstante, ideas como las de la existencia de un solo tiempo, a pesar de la multiplicidad de relojes y de observadores, de la simultaneidad absoluta, de una medida absoluta de los intervalos temporales y de las distancias en el espacio homogéneo, permanecieron firmemente arraigadas en toda la física clásica.

de referencia para intentar ajustar, según ese patrón, los tiempos relativos que se requiere usar en las mediciones¹⁰.

Al reflexionar sobre este tiempo absoluto de Newton que fluye de manera siempre igual, como si fuera, contradictoriamente, un fluir inmutable, no se puede dejar de pensar en las ideas de Platón planteadas en el "Timeo", cuando habla del tiempo como si éste fuera una imagen móvil de la eternidad:

Cuando el Padre que había engendrado el mundo comprendió que se movía y vivía, hecho imagen nacida de los dioses eternos, se alegró con ello y, en su alegría, pensó en los medios de hacerlo más semejante aún a su modelo. Y de la misma manera que ese modelo era un viviente eterno, se esforzó, en la medida de su poder, por hacer igualmente eterno ese mismo Todo. (...) Por esta razón, nuestro autor se preocupó de hacer una especie de imitación móvil de la eternidad y, mientras organizaba el cielo, hizo, a semejanza de la eternidad inmóvil y una, esta imagen eterna que progresa según las leyes de los números, esto que nosotros llamamos el tiempo¹¹.

EL TIEMPO COMO IDEA RELATIVA

Uno de los primeros pensadores en polemizar con las ideas de espacio y tiempo absolutos de Newton fue Leibniz. En la célebre polémica epistolar que sostiene poco antes de su muerte, entre 1715 y 1716, con Clarke, discípulo de Newton, Leibniz aplica su principio de razón suficiente para rechazar el tiempo absoluto de Newton. Nada puede, en efecto, ocurrir en el mundo sin que exista una razón suficiente para ello. En palabras del propio Leibniz: "...tal es el principio de la necesidad de una razón suficiente, esto es, que nada ocurre sin que haya una razón por la que aquello haya de ser así más bien que de otra manera"¹².

Al aplicar este principio a la acción misma de Dios, Leibniz concluye que "sostener que Dios quiere algo, sin que hubiera ninguna razón suficiente de su voluntad, va contra el axioma o regla general de todo lo que sucede"¹³. El Dios de Leibniz, en otras palabras, es ante todo un ser racional que debe, por eso mismo, subordinar su poder infinito a la razón.

Ahora bien, si se piensa el tiempo, siguiendo a Newton, como una realidad absoluta



El Roman de la Rose. Miniatura. s. xiv. B.N. París.

fluyendo de manera siempre igual, habrá que afirmar que Dios creó el mundo en uno de esos instantes de tiempo real. Pero entonces cabría preguntar: ¿Por qué un instante específico en lugar de otro, si todos ellos son exactamente iguales? La escogencia de un instante particular, cualquiera

que él fuese, carecería de una razón suficiente en virtud de la equivalencia perfecta de todos ellos. Dios necesariamente se vería obligado a realizar un acto arbitrario si se le confiere realidad objetiva al tiempo, lo cual, a los ojos de Leibniz, atentaría contra la racionalidad perfecta del Creador. Por eso Leibniz va a sostener que el tiempo –y también el espacio– no puede tener el mismo nivel de realidad que los objetos del mundo. El tiempo es una idea de tal manera que "si no hubiera criaturas, el espacio y el tiempo no existirían más que en las ideas de Dios"¹⁴. Contrariamente a lo que pensaba Newton, el tiempo –y algo similar ocurrirá para el espacio– debe subordinarse a los cambios y a los movimientos de las cosas materiales. Es a partir de éstos que surge la idea de tiempo como relación: "...he señalado más de una vez que consideraba el espacio como una cosa puramente relativa, al igual que el tiempo; como un orden de coexistencias, mientras que el tiempo es un orden de sucesiones"¹⁵.

Siguiendo esta idea, el tiempo no sería sino la relación de orden que establecemos al observar la sucesión de los cambios o de los movimientos en las cosas. Es, como el espacio, "una cosa ideal":

Del tiempo no existen nunca más que instantes y el instante no es siquiera una parte del tiempo. Quien considere estas observaciones comprenderá bien que el tiempo no podría ser sino una cosa ideal. Y la analogía del tiempo y del espacio llevará a pensar con razón que uno es tan ideal como el otro¹⁶.

Sin embargo, a pesar de ser una "cosa ideal", el tiempo puede considerarse también un fundamento. Pero no sería ya, como lo quería Newton, un fundamento ontológico de la realidad material sino más bien un fundamento de nuestra manera de percibir y de pensar lo real como series de hechos ordenados sucesivamente. En un texto que parece anticiparse a la concepción de Kant

¹⁰ De esta manera, Newton señala en el *escolio* cómo "los días naturales son desiguales por más que sean considerados iguales y usados como medida del tiempo". Los astrónomos, según los patrones ideales del tiempo absoluto, se ven obligados a corregir este tiempo.

¹¹ Platón, "Timeo", *Obras completas*, Madrid: Aguilar, p. 1138.

¹² Edición de Eloy Rada (Ed.), *La polémica Leibniz-Clarke*, Madrid: Taurus, 1980, Carta II de Leibniz, párrafo 1 (II, 1) p. 56.

¹³ *Ibid.*, Carta III, 7.

¹⁴ *Ibid.*, Carta IV, párrafo 41.

¹⁵ *Ibid.*, Carta III, párrafo 4.

¹⁶ *Ibid.*, Carta V, párrafo 49.

—tiempo y espacio como intuiciones *a priori* de la sensibilidad, como formas humanas de organizar la experiencia de objetos—, Leibniz lo dice de la siguiente manera:

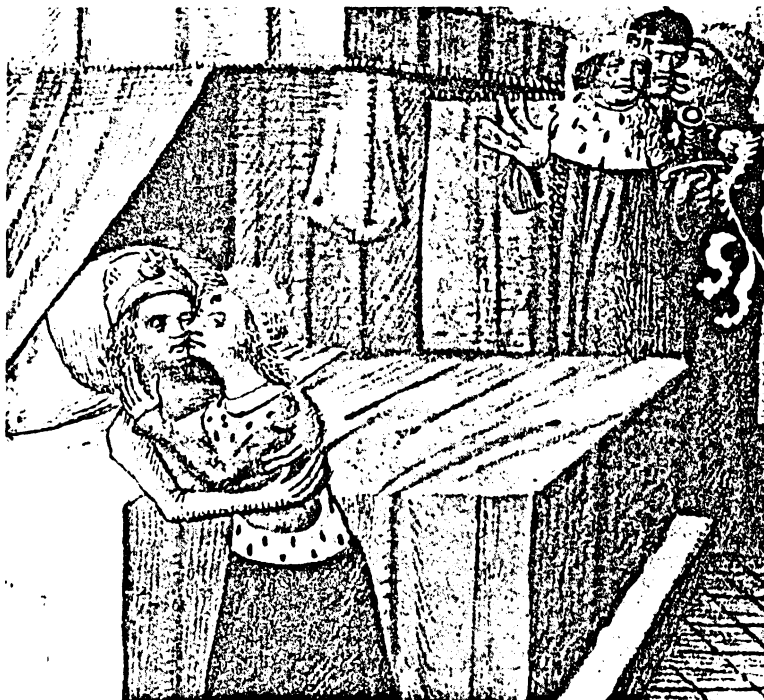
Se ve bien que el tiempo no es una sustancia... no es más que un principio de las relaciones, un fundamento del orden de las cosas en tanto que se conciben sus existencias como sucesivas, o en tanto que no existen en conjunto. Debe ser lo mismo respecto del espacio. Es ése el fundamento del orden de las cosas, pero en tanto que se las concibe en conjunto. Ambos fundamentos son verdaderos, aunque son ideales¹⁷.

La crítica a Newton se va a afinar, desde el punto de vista de la argumentación propia de la física, a finales del siglo XIX con el trabajo de Ernst Mach. En su libro *La ciencia de la mecánica*, Mach somete a un cuidadoso escrutinio, desde una perspectiva positivista, las ideas newtonianas de tiempo, espacio y movimiento. Haciendo referencia a la primacía ontológica del tiempo absoluto sobre los cambios de las cosas que se desprende del concepto de tiempo absoluto de Newton, Mach dice lo siguiente:

Está totalmente por fuera de nuestra capacidad el *medir* los cambios de las cosas por medio del *tiempo*. Todo lo contrario, el tiempo es una abstracción, a la que llegamos por medio de los cambios de las cosas; [esa abstracción] la podemos hacer porque no estamos restringidos a una medida *definida* cualquiera, estando como están todas ellas interconectadas. Un movimiento se dice uniforme cuando iguales incrementos de espacio descritos corresponden a iguales incrementos de espacio recorridos por algún otro movimiento con el cual establecemos una comparación, como podría ser la rotación de la Tierra. Un movimiento puede, con respecto a otro movimiento, ser uniforme. Pero la cuestión de si un movimiento es en *sí mismo* uniforme carece por completo de sentido. No menos justificado está también el hablar de un "tiempo absoluto" —de un *tiempo independiente del cambio*—. Este tiempo absoluto no se puede medir por comparación con movimiento alguno; por lo tanto, está desprovisto tanto de valor práctico como científico y nadie tiene razones para decir que sabe algo de él. Se trata de una concepción metafísica ociosa¹⁸.

Aunque podemos encontrar en esta cita temas similares a los que proponía la crítica de Leibniz —el tiempo como abstracción o como idea, por ejemplo—, el tono del discurso es aquí muy distinto. Mach destaca permanentemente la medición, la posibilidad de medir, como el criterio clave para poder conferirle validez y sentido a un concepto dentro de la física.

Si el tiempo absoluto escapa, en virtud de su misma definición, a la medición, queda, por eso mismo, desprovisto de todo valor práctico y científico y relegado a la categoría de "concepción metafísica ociosa". El tiempo de la física debe estar firmemente articulado a la experiencia de los cambios. El tiempo como idea, como abstracción, es



Roman de Tristan. Miniatura, s. xv. Museo Condé, Chantilly.

una elaboración que se hace a partir de la comparación de esos cambios unos con otros. Así, por ejemplo, puedo comparar el ritmo de las oscilaciones de un péndulo con la rotación de la Tierra alrededor de su propio eje y tomar uno de estos movimientos como patrón —como reloj— para medir, por medio de él, el otro movimiento. Y habiendo definido un patrón de tiempo, que no será otra cosa sino la duración de un movimiento o de un proceso físico que se toma, arbitrariamente, como referencia, podré proceder a medir lapsos de tiempo ligados a fenómenos diversos. Por esta vía se puede llegar a pensar, erróneamente, que el tiempo es independientemente de todo cambio —ésta sería la ilusión de que fue presa el propio Newton— cuando en realidad se subordina totalmente, en la práctica, al desarrollo de los procesos físicos. Para Mach este tiempo relativo, que se define justamente con respecto a los cambios observables, es el único posible como concepto funcional para la física.

Las ideas de Mach hacen recordar la célebre fórmula de la *Física* de Aristóteles "el tiempo es el número del movimiento según el antes y el después"¹⁹. Apartándose de Platón, para quien el tiempo era, recordémoslo, una "imagen móvil de la eternidad", Aristóteles piensa el tiempo subordinándolo al cambio, como una medida del cambio:

Y puesto que cuando no distinguimos ningún cambio, y el alma permanece en un único momento indiferenciado, no pensamos que haya transcurrido tiempo, y puesto que cuando lo percibimos y distinguimos decimos que el tiempo ha transcurrido, es evidente entonces que no hay tiempo sin movimiento ni cambio. Luego es

evidente

¹⁷ Carta a la electora Sofía del 31 de octubre de 1705. Citado por Dino Garber en *El espacio como relación en Leibniz*, Caracas: Equinoccio, Editorial de la Universidad Simón Bolívar, 1980, p. 136. Vale la pena citar un texto que en cierto sentido es paralelo a éste pero referido al espacio, de la tercera carta a Clarke, párrafo 4: "Pues el espacio señala en términos de posibilidad un orden de las cosas que existen al mismo tiempo, en tanto que existen conjuntamente, sin entrar en sus peculiares maneras de existir; y en cuanto vemos varias cosas juntas, nos damos cuenta de este orden de cosas entre ellas".

¹⁸ Ernst Mach, *The science of Mechanics*, Illinois: La Salle, The Open Court Publishing Company, 1960, p. 273. Las bastardillas son de Mach. La traducción del inglés es nuestra. Conviene señalar cómo en esta cita, que quiere ser un ataque frontal contra el uso de ideas metafísicas en la ciencia, Mach deja filtrar una de sus ideas metafísicas favoritas: todos los cambios y todos los procesos del universo están interconectados entre sí. ¿Cuál podría ser la moraleja? ¿Ni siquiera el positivismo más vigilante escapa a la metafísica? ¿No es posible pensar sin que la metafísica ronde en el trasfondo? ¿Pensar lo relativo y lo condicionado requiere concebir lo absoluto?

¹⁹ Aristóteles, *Física*, Libro IV, 219b.

evidente que el tiempo no es un movimiento, pero no hay tiempo sin movimiento ²⁰.

Algunos años después de la publicación de *La ciencia de la mecánica*, Albert Einstein, en su teoría especial de la relatividad, construirá, siguiendo las pautas trazadas por Mach, un concepto de tiempo formado exclusivamente a partir de procesos bien definidos de medición y derivará de allí, con un rigor admirable, consecuencias que resultarán paradójicas para las mentalidades de comienzos del siglo XX, formadas en los conceptos absolutos de la mecánica de Newton²¹. En primer lugar, se define en la relatividad un tiempo local directamente a partir de los procesos físicos, de los relojes. Habrá que decir –en una formulación que comparada con la de Newton podría parecer decepcionantemente simple–, que el significado de la palabra tiempo, tal como se usa en la física, se reduce a la indicación de un reloj. El tiempo es, escuetamente, lo que indica un reloj y no hay que buscar ningún trasfondo filosófico o metafísico detrás de esta definición. Claro, es necesario complicar un poco más esta idea empírica tan sencilla para hacerla funcional. El reloj, en efecto, nos permite medir el tiempo local, es decir establecer duraciones de procesos o numerar eventos que ocurren en las vecindades de cada reloj. Para el físico el problema que se plantea es el de definir un solo tiempo a partir de una multitud de tiempos locales indicados por relojes situados en distintos sitios. ¿Cómo sincronizar, en otras palabras, relojes situados en distintos puntos de un mismo referencial? Einstein propone un método de sincronización práctico basado en el uso de rayos de luz. De esta manera es posible definir, usando procedimientos experimentales bien definidos, un solo tiempo para cada sistema de referencia. Einstein construye su teoría con base en dos principios generales. Uno de ellos es el de la constancia de la velocidad de la luz, independientemente del sistema de referencia desde el cual se observe el rayo de luz. Dado que la sincronización usa rayos de luz, resultarán, en virtud de este principio, propiedades aparentemente paradójicas para este tiempo empírico: la simultaneidad de dos eventos, por ejemplo, se vuelve relativa, es decir, depende del estado de movimiento del observador que mide los tiempos de los eventos; igualmente, la medida de los intervalos de tiempo entre dos eventos dependerá del estado de movimiento relativo del observador.

DE LOS *PRINCIPIA* A LA RELATIVIDAD

Podría decirse que desde los *Principia* de Newton hasta los relacionados con la rela-

tividad de Einstein, el programa iniciado por Galileo –que consiste básicamente en estudiar la naturaleza desde el punto de vista de la legalidad, en aprehender la dinámica de los fenómenos bajo la forma inmutable de la ley– se fortalece y se enriquece continuamente. La ley matemática es atemporal, se sitúa por fuera del tiempo histórico y, sin embargo, utiliza un tiempo físico, cualitativamente homogéneo y medible como un parámetro de orden para desplegar los momentos distintos de cada proceso. Este tiempo de la física ha sido también objeto de conceptualizaciones y teorizaciones diversas. En este texto hemos esbozado a este respecto dos grandes líneas de pensamiento que comportan numerosos matices pero que podrían hacerse remontar a las ideas de Platón y de Aristóteles. Las ideas de Newton y Einstein sobre el tiempo podrían concebirse como dos desarrollos concatenados de esa oposición milenaria.

La naturaleza de Newton está imbuida de espíritu. Un Dios poderoso, siempre presente y actuante, gobierna sobre el mundo. Una de sus dimensiones, el tiempo eterno, absoluto en su fluir constante y regular, hace posible los cambios de las cosas. El conocimiento de la naturaleza no puede eludir este fundamento de lo real. Por eso, aunque no pueda ser aprehendido por la experiencia limitada del hombre, el tiempo absoluto debe ser también una de las bases de la física. Por supuesto, será necesario, al lado de este tiempo “verdadero, absoluto y matemático”, introducir también un tiempo empírico como “medida sensible” de la duración por medio del movimiento. Sin embargo, hay que estar alerta –para no contaminar la verdadera filosofía– de no confundir este tiempo relativo con el que es verdadero y absoluto.

La naturaleza de Mach –y también seguramente la de Einstein– es una naturaleza secularizada. En su estudio no podemos trascender más allá de la experiencia humana. La tarea de la ciencia es expresar las regularidades de esta experiencia. La física se ocupa de un ámbito delimitado y depurado de experiencias que trata de aprehender en sus aspectos más generales por medio de leyes matemáticas. Los conceptos que se ponen en juego en la elaboración de estas leyes deben construirse en relación estrecha con la experiencia, en relación incluso con procedimientos experimentales. En particular, el concepto de tiempo debe acuñarse a través de los procedimientos de medida que permitan determinarlo. Y el tiempo de la física no será nada más que ese sistema de procedimientos. Es un concepto que, lejos de ser absoluto, se subordina a la naturale-

²⁰ *Ibid.*, 219a. La cita ha sido tomada de la traducción de Guillermo R. De Echandía, Madrid: Planeta D'Agostini, 1988.

²¹ El artículo de Einstein de 1905, titulado “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, puede encontrarse traducido al inglés en *The principle of relativity*, New York: Dover Publications, 1952.

za de los procesos físicos que se ponen en juego en esos procedimientos de medición. Es un tiempo relativo a esos procesos y de ellos deriva todas sus propiedades.

Volvamos de nuevo a las palabras de Heidegger que nos han servido de epígrafe:

Si nos aclaramos acerca de qué es un reloj, con ello adquiere vida la forma de comprensión propia de la física y la forma en que el tiempo tiene oportunidad de manifestarse.

Mach y Einstein, paradójicamente, hubieran podido hacer suya esta cita del filósofo alemán. No así Newton, quien quería finalmente acercarse a Dios a través de su física. Entender el tiempo, esa imagen móvil de lo eterno que se expresa en la inmutabilidad de la ley, era para él intuir la eternidad del Creador π



Loyset Liedet. s. xv. B. de l'Arsenal, París.