

<http://doi.org/10.21555/top.v0i57.1022>

The Passage of Time: Between Physics and Experience

El pasaje temporal: entre la física y la experiencia

Cristian López
Universidad de Buenos Aires, Argentina
Université de Laussane, Suiza
lopez.cristian1987@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0000-0002-2883-4037>

Recibido: 03 – 03 – 2018.

Aceptado: 25 – 05 – 2018.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution
-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Abstract

In the philosophy of physics and philosophy of time there is a widely-extended thesis according to which our experience of the passage of time is unreal to the extent that it has no objective grounds in nature as described by our best physical theories. Particularly, as dynamical laws belonging to such theories are temporally symmetric, and they do not distinguish both time directions, the experienced temporal asymmetry turns out to be illusory. In this paper, I shall argue that we have sound reasons to cast doubts on such thesis. For the one thing, it is not so clear to me to what extent we really have experience of the passage of time. For another thing, it is highly questionable that our dynamical laws are temporally symmetric, and if so, that they were useful to argue against our assumed experience of the passage of time.

Key words: passage of time; temporal symmetry; experience; dynamical laws; the direction of time.

Resumen

En filosofía de la física y filosofía del tiempo existe una extendida tesis que afirma que nuestra experiencia del pasaje temporal es ilusoria, que no tiene correlato objetivo con el mundo natural de acuerdo a nuestras mejores teorías físicas. En particular, en la medida en que las leyes dinámicas de tales teorías son temporalmente simétricas y no permiten distinguir entre ambas direcciones temporales, la asimetría temporal experimentada debería ser considerada como algo puramente subjetivo. En este artículo argumentaré que tenemos sólidos motivos para poner en duda tal tesis. En primer lugar, no es claro en qué medida tenemos experiencia efectiva del pasaje temporal. En segundo lugar, es cuestionable que nuestras leyes dinámicas sean temporalmente simétrica, y que si lo fueran, que éstas sirvan como argumento en contra de una hipotética experiencia del pasaje temporal.

Palabras clave: pasaje temporal; simetría temporal; experiencia; leyes dinámicas; la dirección del tiempo.

Introducción

La filosofía del tiempo es una rama central de la metafísica, cuyos orígenes podrían remontarse a los inicios mismos de la filosofía occidental. Durante las últimas décadas, con el desarrollo y extensión de una metafísica *naturalizada* o *científicamente informada* (tal como se la suele denominar en nuestros días), la naturaleza del tiempo como objeto de discusión filosófica ha experimentado una suerte de nuevo impulso. El entrecruce interdisciplinario entre metafísica y ciencias naturales-empíricas ha permitido abordar la problemática desde nuevas perspectivas, contando con nuevas herramientas conceptuales y formales. Esto ha dado lugar no sólo a una profundización del problema mismo, sino también a abrir nuevas líneas de desarrollo. Y si bien el carácter multifacético del tiempo ha encontrado su canalización mediante diferentes disciplinas científicas (como la psicología experimental, las neurociencias y la biología), sin lugar a dudas la física ha ocupado un lugar central en el desarrollo de una metafísica del tiempo científicamente informada.

Los problemas en torno a la naturaleza del tiempo han sido siempre muy elusivos. Por un lado, el tiempo parece ser un aspecto central y estructurante de nuestra vida cotidiana; posiblemente, una de nuestras creencias más firmes es que *el tiempo pasa*, que el tiempo tiene una direccionalidad y que existe una diferencia sustancial entre el pasado y el futuro, o entre el espacio y el tiempo. Estas características son generalmente reunidas bajo la idea compleja del “pasaje temporal”. Por el otro lado, desde el punto de vista filosófico y científico, muchas de esas propiedades que intuitivamente son adjudicadas al tiempo han sido muy difíciles de justificar o capturar teóricamente. En particular, la física parece no poder reflejar esta noción intuitiva del pasaje temporal: el tiempo a la luz de la física se parecería muy poco al tiempo que hemos conceptualizado a partir de la experiencia cotidiana. Esta situación ha dado lugar a una extendida tesis en filosofía del tiempo y filosofía de la física: en la medida en que la física no parece rescatar muchas propiedades intuitivamente predicadas de la idea del “pasaje temporal” (como la existencia de una dinámica temporal, la propiedad de ser asimétrico o tener una direccionalidad), la conclusión metafísica que tendríamos que extraer es que el pasaje temporal no tiene ningún correlativo objetivo en el mundo físico: en el mejor de los casos, nuestra

experiencia del pasaje temporal permanece inexplicada; en el peor, es meramente una ilusión macroscópica que no encuentra lugar en el mundo físico. Me referiré a estas tesis como “la tesis de la irrealdad física del tiempo” (TIFT en adelante).

Naturalmente, TIFT es una tesis muy compleja en la medida en que los argumentos físicos que se utilizan son muy variados. Pero una línea de argumentación muy fuerte en la bibliografía filosófica y científica se basa en que las leyes dinámicas de las teorías físicas actualmente vigentes son simétricas (i.e. invariantes) ante la acción de invertir la dirección temporal; es decir, desde un punto de vista puramente físico, tales leyes son incapaces de distinguir la dirección pasado-futuro de la dirección futuro-pasado debido a que tienen soluciones simétricas en cada dirección temporal. Por lo tanto, nuestra experiencia del pasaje temporal sería en algún sentido ilusoria en la medida en que las leyes dinámicas de las teorías físicas tienen la propiedad de ser temporalmente simétricas o invariantes ante inversión temporal (T-invariantes de ahora en más).

El objetivo de este artículo es poner en cuestión TIFT. A pesar de la amplia extensión de la tesis, ésta no es usualmente presentada de una manera clara y estructurada. Mi primer objetivo será ofrecer una clara presentación de una de sus versiones. Luego, ofreceré mis argumentos en su contra. En particular, presentaré dos argumentos en contra de TIFT. El primer argumento apunta a poner en tela de juicio que *efectivamente* tengamos experiencia del pasaje temporal. Mostraré que este supuesto, necesario para concluir que tenemos experiencia de algo ilusorio, debe ser tomado con más cuidado de lo usual. El segundo argumento busca cuestionar que las leyes dinámicas de la física sean incuestionablemente T-invariantes. Este argumento tiene dos aristas: primero, que la afirmación se basa en un supuesto que exige concebir situaciones físicas altamente idealizadas; segundo, que incluso en tales situaciones idealizadas, no es claro cómo interpretar la simetría temporal y su vínculo con nuestra supuesta experiencia del pasaje temporal.

El artículo se estructura de la siguiente manera. En la Sección 1 presentaré una versión de TIFT y el respectivo argumento sobre el cual se asienta la tesis. En la Sección 2 daré mi primer argumento en contra de que efectivamente tengamos experiencia del pasaje temporal. En la Sección 3 daré mi segundo argumento relacionado con la pretendida

simetría de las leyes dinámicas de la física. Finalmente, daré algunas conclusiones y posibles desarrollos futuros de la problemática.

1. La experiencia ilusoria del tiempo

En términos muy generales y esquemáticos, TIFT se fundamenta en que tenemos un cierto tipo de experiencia p (“la experiencia del pasaje temporal”), pero que a su vez tenemos suficiente evidencia científica para concluir que aquello de lo cual tenemos experiencia no es objetivo ni físicamente real.¹ Para ser claros: TIFT considera que es verdadera la afirmación “tenemos experiencia del pasaje temporal”, pero niega que el contenido de esa experiencia sea verídico en el sentido de reflejar una propiedad objetiva del mundo; en otras palabras: niega que el pasaje temporal sea una característica objetiva del mundo natural. En conclusión, la experiencia del pasaje temporal sería la experiencia de algo físicamente irreal, es decir, sería una ilusión.²

Sin embargo, la tesis así descripta no es sólo sumamente vaga, sino que también esconde algunos supuestos que no son explícitos. En primer lugar, la tesis parecería tener dos extremos: por un lado la veracidad de “tenemos experiencia de p ”, y que de acuerdo con nuestra experiencia p es el caso; y por el otro que hay buenos motivos fundados en la física para sostener que p no es el caso. En estos términos, la tesis solo muestra que existe una brecha entre el mundo que nos es dado por la experiencia y el mundo descrito por la física. Claramente, no se sigue directamente que debemos descartar lo que nos es dado por la experiencia, sino que hay un desacuerdo (o una brecha para mantener la analogía) entre ambos extremos.

Claramente, TIFT asume que frente a un desacuerdo entre lo que nos es dado en la experiencia y lo que nos es dado mediante una descripción del mundo natural por la física, nuestras creencias acerca de cómo es el

¹ Por “físicamente real” simplemente entenderé que no es una propiedad del mundo recogida por alguna teoría física actualmente vigente

² Llamaré ‘ilusoria’ a aquella experiencia de x , cuando x no es objetivamente real. Esto no implica que la experiencia de x no sea real (de hecho, la tesis se basa en que la experiencia es real, aunque ilusoria). La realidad de tal experiencia es condición para que ésta sea considerada una experiencia ilusoria. Adelantando la línea de argumentación de la siguiente sección, mi propósito es mostrar que la experiencia del pasaje temporal no es ni siquiera real. Agradezco a un referí anónimo por marcar esta relevante distinción.

mundo debieran regirse por la última y no por la primera. En general, toda metafísica científicamente informada asume este punto de vista: la evidencia empírica que proveen las ciencias naturales debe tomarse como punto de partida y regulación de la reflexión filosófica. Frente a desacuerdos entre lo que nos es dado por la experiencia y lo que nos es informado a partir de una ciencia empírica, el presupuesto es que es esta última la que *más probablemente* (para expresarlo de manera suave) nos provea de información confiable acerca de cómo es el mundo natural.

No quiero discutir si esta premisa es válida o no. Pero está de un u otra manera presente en muchas de las discusiones filosóficas que hoy en día se abordan desde una metafísica científicamente informada. En los últimos años, mucha bibliografía ha sido destinada a formular las bases y objetivos de lo que se denomina una “metafísica naturalizada”, una “metafísica científicamente informada” o una “metafísica científica” (ver Ross, Ladyman y Kinkaid, 2017 para un buen resumen de varias posturas al respecto). TIFT como una posición filosófica que asume tal punto de vista, asume también tal premisa. Por lo tanto, la daré por válida sin mayores discusiones. Objetar esta premisa sería no compartir los supuestos básicos de la discusión, y esta finalizaría antes de ni siquiera comenzar. Aclarado este punto, TIFT puede sintetizarse en la siguiente afirmación:

TIFT En la medida en que nuestra creencia adquirida por experiencia sobre la realidad del pasaje temporal no encuentra correlato en la física, y nuestras creencias acerca del mundo deben regirse por la última y no por la primera, la creencia en la realidad del pasaje temporal es falsa y nuestra experiencia del pasaje temporal ilusoria.

TIFT está sumamente extendida en la bibliografía científica y filosófica de diferentes maneras. Por ejemplo, Tim Maudlin ha dicho que hemos sido educados (en tanto filósofos y físicos) en que el pasaje del tiempo es un mito, una ilusión e incluso una noción incoherente (Maudlin, 2002: 259). Julian Barbour (1999) ha afirmado: “Creo ahora que el tiempo no existe en absoluto y que el movimiento mismo es pura ilusión. Lo que más, creo que hay un soporte muy fuerte en la física para este punto de vista” (1999: 4). Carlo Rovelli (2011) tituló su ensayo

de la FQXi “Forget time” (“Olvida el tiempo”) y ha sido un vehemente promotor de la idea que la física fundamental demuestra que el tiempo no es real (fundamentalmente en gravedad cuántica). Huw Price (1996), por su parte, ha afirmado que en la medida en que las leyes de la física son temporalmente simétricas, el pasaje temporal experimentado no es real (1996: 116).

Vale la pena hacer algunas aclaraciones. En primer lugar, tal como mencioné anteriormente, la idea del pasaje temporal es una idea compleja que incluye varias propiedades que intuitivamente son adjudicadas al tiempo. Huw Price (2011) ha desmontado esta idea compleja en tres ideas más simples: la idea de un presente dinámico (tesis central del *presentismo*), la idea de que el tiempo tiene una direccionalidad privilegiada (o una *flecha del tiempo*), y la idea de que el tiempo es alguna clase de entidad que *fluye*. En segundo lugar, hay diferentes argumentos físicos sobre los cuales recae TIFT para defender su afirmación; aquello que no encuentra correlato objetivo en el mundo físico es alguna de las ideas simples que compone la idea más compleja del pasaje temporal. En tercer lugar, y en estrecha relación con el punto anterior, no todos los autores citados en el párrafo anterior suscriben una tesis como TIFT de la misma manera. En términos generales, podría decirse que la tesis de la existencia del pasaje temporal (tal como se mencionó más arriba) involucra una dinámica, una direccionalidad y un orden temporal. Autores como Price suscriben TIFT al negar una dinámica y una direccionalidad objetiva del tiempo. Rovelli en cambio, basándose en ciertas interpretaciones de teoría de gravedad cuántica, incluso niega que el tiempo tenga un orden (estructura mínima requerida para hablar con sentido de algo como tiempo) ya que no existiría una única parametrización de foliaciones temporales en el espacio-tiempo, ni tampoco un único ordenamiento temporal (para discusión, ver Grib and Thebault, 2016, quienes recuperan un ordenamiento temporal en gravedad cuántica). Más allá de estas diferencias, es claro que al negar uno de los constituyentes del pasaje temporal, se niega la idea misma del pasaje temporal, y esto es un rasgo compartido por todos estos autores y por quienes suscriben TIFT en alguna de sus formas.

Siendo general y esquemático, hay dos grandes líneas de argumentación física para sostener TIFT (haciendo a un lado la argumentación *a lá* Rovelli). Por un lado, se ha argumentado que la teoría general de la relatividad no favorece una metafísica del tiempo en donde exista el pasaje temporal, en particular, porque es incompatible

con una metafísica presentista del tiempo. Si bien el presentismo puede caracterizarse de diferentes maneras (ver Hestevold y Carter, 2002 para un sumario de algunas caracterizaciones), en general es la tesis que es necesariamente verdadero que solamente el momento presente existe (Markosian, 2016), mientras que el momento pasado y futuro no tienen ningún tipo de existencia. La teoría general de la relatividad, por el contrario, favorecería una metafísica eternalista del tiempo, donde pasado, presente y futuro tienen el mismo estatus ontológico. El momento presente (el indexical “ahora”) no es sino un punto (temporal) más en un universo espacio-temporal (similar al indexical “aquí” en términos del espacio). (Para seguir esta línea de argumentación, ver por ejemplo Weyl 1949; Rietdijk, 1966; Penrose, 1989; Romero, 2015).

Por otro lado, la segunda línea de argumentación se basa en que las leyes dinámicas de la física parecen tener la propiedad de ser simétricas (invariantes) ante inversión temporal (T-invariancia). Más adelante precisaré qué se entiende por inversión temporal y por T-invariancia, pero estas nociones están íntimamente ligadas con la idea de que el tiempo tiene o carece de una direccionalidad temporal intrínseca. Si las leyes dinámicas de una teoría física son simétricas ante inversión temporal, entonces no son capaces de distinguir entre la dirección pasado-futuro de la dirección futuro-pasado. Leyes T-invariantes no adjudican al tiempo ningún tipo de direccionalidad ni asimetría, en tanto no permiten establecer ninguna diferencia física entre aquellas evoluciones dirigidas al pasado ($-t$) y aquellas dirigidas al futuro ($+t$) (ver Horwich, 1987; Arntzenius, 1995; Price, 1996).

Naturalmente, una tesis como TIFT podría tomar cualquier de las dos líneas para fundamentar su posición. Como mencioné en la introducción, tomaré la segunda línea (basada en la simetría temporal de las leyes dinámicas de las teorías físicas) para apuntalar el argumento que sostiene TIFT y que discutiré en el resto del artículo:

1. La creencia de que el pasaje temporal es real proviene del hecho que *realmente* tenemos experiencia del pasaje temporal.
2. Si el pasaje temporal es real, entonces debería estar reflejado en la manera en la cual las teorías físicas actualmente vigentes describen el mundo.

3. Si las teorías físicas actualmente vigentes reflejan el pasaje temporal de alguna manera, entonces al menos alguna ley dinámica de la física vigente debe ser capaz de distinguir entre ambas direcciones temporales, es decir, debe existir al menos una ley dinámica no T-invariante.
4. Sin embargo, las leyes dinámicas de las teorías físicas actualmente vigentes son T-invariantes.
5. Por lo tanto, las teorías físicas son incapaces de reflejar el pasaje temporal.
6. Por lo tanto, el pasaje temporal no puede ser real.

Tomaré a las premisas 2 y 3 como verdaderas: la premisa 2 simplemente expresa el compromiso naturalista de una metafísica científicamente informada (tal como señalé anteriormente); la premisa 3 introduce un supuesto bastante aceptado en la bibliografía filosófica y científica respecto del problema de la flecha del tiempo: que las leyes instancien o no la propiedad de ser T-invariantes es significativo para dilucidar si el tiempo es asimétrico o no, si tiene una dirección o no (ver por ejemplo Horwich, 1987; Callender, 1995; Arntzenius, 1995; North, 2009). La premisa 1 y la premisa 4 son las que discutiré en lo que resta del artículo. En la próxima sección argumentaré en contra de la premisa 1, y en la sección subsiguiente en contra de la premisa 4.

2. El pasaje temporal, ¿nos es dado en la experiencia?

Como mencioné anteriormente, en filosofía del tiempo y filosofía de la física la mayoría de las discusiones sobre la naturaleza del tiempo parten del hecho básico que tenemos realmente experiencia del pasaje temporal: en cada instante, “sentimos” el pasaje temporal y articulamos toda nuestra vida e incluso nuestras sociedades a partir de tal dato empírico.

En la bibliografía filosófica y científica respecto de la naturaleza del tiempo abundan las citas en las cuales se toma la existencia del pasaje temporal como un punto de partida (por citar algunos ejemplos: Schuster, 1986; Davies, 1995; Price, 1996, 2011; Craig, 2000; Maudlin, 2002, 2007; Le Poidevin, 2007; Callender, 2011; Paul, 2010; Prosser, 2013). Maudlin (2007), quien defiende que el pasaje temporal es una propiedad

intrínseca del espacio-tiempo y por lo tanto algo real, afirma que es un hecho manifiesto que el mundo se nos da en la experiencia como algo que cambia y el tiempo como algo que pasa, y que ni “toda la filosofía del mundo nos convencerá que tales hechos son meras ilusiones” (Maudlin, 2007: 135). Huw Price (1996), quien contrario a Maudlin piensa que el pasaje temporal no encuentra asidero en la física, parte del mismo supuesto: “el tiempo parece tener un carácter transitorio. Tenemos la impresión de que fluye o pasa” (Price, 2011: 276). Y M. M. Schuster (1986), con mayor claridad y contundencia, afirma:

Permítaseme comenzar esta investigación con el hecho simple pero fundamental que el flujo del tiempo, o su pasaje, como se lo conoce, nos es dado por experiencia, que es un aspecto indudable de nuestra percepción del mundo (...) (Schuster, 1986: 695).

La función de esta premisa en el argumento para sostener TIFT es muy clara: para argumentar que nuestra experiencia del pasaje temporal es una ilusión sin correlato objetivo en la física, primero necesitamos tomar por verdadero que *efectivamente tenemos* experiencia del pasaje temporal. Hay *algo* que experimentamos que podemos llamar “pasaje temporal”, pero ese algo –continúa la tesis– no forma parte del mundo objetivo de acuerdo a la física. La conclusión de que tal experiencia es ilusoria claramente requiere que primero uno asuma que tal experiencia tiene lugar, es decir, que la experiencia del pasaje temporal es *real*. Esto ha llevado a muchos filósofos y científicos a creer que el mayor desafío es lograr una reconciliación entre dos aspectos escindidos de la realidad: una realidad experimentada temporalmente dinámica y una realidad subyacente atemporal; o a explicar cómo una realidad macroscópica donde existe el pasaje temporal “emerge” a partir de una física atemporal. Creo que filósofos y científicos, más allá de su posición favorable o negativa respecto de la existencia del pasaje temporal, han dado por verdadera esta premisa muy rápidamente y sin mayores discusiones.

El argumento que quiero presentar en esta sección pone en tela de juicio que *realmente* tengamos experiencia del pasaje temporal, y que por lo tanto la experiencia del pasaje temporal sea una ilusión. Puesto de otra manera, voy a argumentar que la experiencia del pasaje temporal no podría ser considerada una ilusión porque ni siquiera tenemos tal experiencia. Al desarticular de esta manera la primera premisa del

argumento de TIFT, se desarticula una parte sustancial de su tesis central. Creo que el motivo principal por el cual filósofos y científicos que defienden TIFT han concedido tal fácilmente esta premisa se debe no sólo a su carácter sumamente intuitivo, sino también a que la tesis ha encontrado un fuerte desarrollo en filosofía de la física. Pero en los últimos años, algunos trabajos en fenomenología del pasaje temporal (principalmente en ámbitos cercanos a la psicología experimental y la metafísica analítica) han apuntado a cuestionar que tengamos experiencia del pasaje temporal.

Una de las razones por las cuales muchos filósofos del tiempo han tomado la experiencia del pasaje temporal tan seriamente se debe a que es una de las principales razones para sostener un enfoque dinámico y no reduccionista del pasaje temporal (cf. Paul, 2010; Hoerl, 2013), lo que en un vocabulario más clásico se suele denominar “Teoría-A” del tiempo. En términos muy generales, la teoría-A del tiempo considera que el pasaje temporal está dado por la dinámica de los predicados “pasado”, “presente” y “futuro” (McTaggart, 1908). La realidad de la experiencia del pasaje temporal ha dado lugar a diferentes “Argumentos a partir de la experiencia” (como Frischut, 2013 y Le Poidevin, 2007 los llaman) para defender la realidad objetiva y dinámica del pasaje temporal que en general se estructuran como argumentos a la mejor explicación. Tales argumentos han sido tomados tan seriamente en la comunidad filosófica, que defensores de teorías estáticas y reduccionistas del pasaje temporal, como la “Teoría-B” del tiempo de acuerdo al vocabulario de McTaggart (1908), han tenido que enfrentar la carga argumentativa de explicar cómo es que tenemos experiencia de algo que no es real ni objetivo; Christoph Hoerl (2013) ha argumentado que incluso el éxito o fracaso de los defensores de teorías estáticas y no reduccionistas del pasaje temporal depende de poder dar una respuesta al “problema de inteligibilidad”: cómo explicar que “no hay tal cosa como el pasaje temporal, y sin embargo la experiencia temporal parece involucrar la presentación aparente del pasaje” (Hoerl, 2013: 190).

Los argumentos que presentaré a continuación están, en gran medida, basados en trabajos sobre fenomenología y experiencia del tiempo, aunque agregaré algunos ejemplos para hacer más claros los puntos. Mi objetivo es mostrar cómo estos argumentos ofrecen buenos motivos para poner en jaque una de las premisas fundamentales de TIFT tal como la he presentado, algo que está fuera del alcance de estos argumentos y es novedoso en la discusión estándar sobre física y

experiencia en filosofía de las ciencias y filosofía de la física (el campo en el cual quiero ofrecer esta discusión). En general, los argumentos contra la premisa “tenemos realmente experiencia del pasaje temporal” pueden dividirse en dos líneas. Por un lado, una línea de argumentación apunta a mostrar que aquello de lo que efectivamente tenemos experiencia no equivale a una genuina experiencia del pasaje temporal. Llamaré a este argumento “Argumento negativo desde la experiencia”. La segunda línea de argumentación es más general y, creo, más fuerte, en la medida en que cuestiona que pueda existir una *potencial* experiencia del pasaje temporal; si el pasaje temporal es real (sea lo que fuese), no es algo de lo cual podamos tener experiencia como tal. En la medida en que este argumento parte de razones puramente conceptuales para negar la experiencia del pasaje temporal, lo llamaré “Argumento conceptual en contra de la experiencia del pasaje temporal”.

2.1 Argumento negativo desde la experiencia

A primera vista, el hecho de que tengamos experiencia del pasaje temporal parece seguirse de que tenemos experiencia del *cambio*. Ciertamente, el mundo a nuestro alrededor está en constante cambio: nuestro cuerpo cambia, el vecindario en el que crecimos cambia, la naturaleza que nos rodea parece estar en perpetuo cambio. Sin embargo, la pregunta central es la siguiente: ¿experimentamos el pasaje del tiempo *además* de experimentar el cambio?

La relación entre tiempo y cambio ha sido ampliamente discutida en la filosofía. En términos generales, la discusión ha girado en torno a si el cambio implica el pasaje temporal o si el pasaje temporal implica el cambio. Mientras que el primer condicional ha sido en general ampliamente aceptado (tanto por aquellos que han buscado reducir el pasaje temporal al cambio, como por aquellos que han defendido una dinámica temporal objetiva), el segundo condicional ha sido controversial (para una famosa defensa de la existencia del tiempo sin cambio, ver Shoemaker, 1969). Sin embargo, estas relaciones lógicas o metafísicas entre ambos conceptos (para detalles ver Markosian, 2016 y Mortensen, 2016) no deberían tomarse en sentido muy estricto para la discusión de qué tipo de relación existe entre la *experiencia* del cambio y la *experiencia* del pasaje temporal. Por ejemplo, si probáramos que el cambio no implica metafísica o lógicamente el pasaje temporal, sería razonable suponer que tampoco existe una relación entre tener la

experiencia del cambio y tener la experiencia del pasaje temporal. Pero, si en cambio advertimos que existe una fuerte relación lógica o metafísica entre ambos conceptos, que tengamos experiencia de uno o de otro podría ser algo independiente: es plausible que tengamos experiencia del cambio, pero no experiencia del pasaje temporal, aunque exista entre ellos una fuerte relación metafísica.

La relación que está en juego aquí es si la *experiencia* del cambio implica en algún sentido la *experiencia* del pasaje temporal. Nótese que bajo una teoría puramente reductiva del tiempo al cambio, el condicional sería un truismo: sólo diría que la experiencia del cambio implica la experiencia del cambio. Tal implicación no es sólo filosóficamente poco relevante, sino que no suele ser el punto de vista que asumen los defensores de la existencia objetiva del pasaje temporal. Por un lado, existen enfoques donde no existe el pasaje temporal que son perfectamente compatibles tanto con nuestra experiencia del cambio como con la existencia objetiva del cambio (por ejemplo, la Teoría-B del tiempo). Por otro lado, si la implicación es filosóficamente informativa debe asumir que tener experiencia del pasaje temporal es distinto a meramente tener experiencia del cambio, aunque uno pueda acceder a la primera mediante la segunda.

¿Qué es, entonces, tener experiencia del cambio? En términos simples, tener experiencia del cambio es tener experiencia de una sucesión contigua de eventos cualitativamente distintos (utilizando vocabulario Humeano). Sin embargo, tener experiencia del pasaje temporal debe ser *algo más* que tener experiencia de una mera sucesión contigua de eventos cualitativamente distintos. Por lo tanto, tal experiencia de una sucesión contigua de eventos cualitativamente distintos además debe implicar o involucrar tener la experiencia de que tales eventos como siendo “pasados”, “presentes” y “futuros”. En términos de un objeto que cambia sus propiedades, experimentamos el cambio cuando tenemos la experiencia de que un objeto a tiene la propiedad $C(a)$, luego la propiedad $D(a)$ y luego la propiedad $E(a)$. Tener experiencia del pasaje temporal mediante la experiencia de la sucesión contigua implica que además experimentamos cada evento como instanciando la propiedad monádica de “ser pasado”, “ser presente” y “ser futuro”, y es la experiencia de tal dinámica la que equivaldría a la experiencia del pasaje temporal.

Sin embargo, no es claro qué contenido en nuestra experiencia equivale a tal dinámica del pasaje temporal, a ese *algo más* que encontramos

en la experiencia de la sucesión contigua de eventos cualitativamente distintos. Hoerl (2013) ha mostrado que hay una especie de confusión a la hora de analizar la estructura de la fenomenología del tiempo y del cambio. Hoerl responde a quienes han argumentado que ese *algo más* en la experiencia del cambio (que conduciría a la experiencia del pasaje temporal) descansa en una especie de fluidez “más animada”. Un ejemplo claro son las agujas de un reloj: el movimiento del segundero es “más fluido”, “más animado”, que el movimiento de la aguja que marca las horas. Experimentar el movimiento del segundero y el de la aguja que marca las horas sería un claro ejemplo en el cual el primer movimiento *además* permite la experiencia del pasaje temporal, mientras que el segundo no.

Hoerl argumenta que la diferencia entre ambos movimientos no conduce a ninguna genuina experiencia del pasaje temporal, sino a una distinción entre dos sentidos de “tener una experiencia”, en este caso, de “tener una experiencia del cambio”: en un caso, *vemos* (percibimos) el segundero moverse, en el segundo *inferimos* que la aguja que marca las horas se ha movido. Pero, según Hoerl, la diferencia radica solamente en una diferencia en el modo de tener una experiencia y no en que hayamos experimentado *algo más* o que hayamos tenido una experiencia distinta a la del mero cambio. La diferencia radica, en palabras de Hoerl, “en la manera en la que nos volvemos conscientes del movimiento en cada caso” (2013: 197).

Uno podría dar incluso un paso más. Supongamos dos cámaras que registran y graban diversos movimientos. La primer cámara graba a una tasa de x de cuadros por segundo mientras que la segunda graba a una tasa de x^4 cuadros por segundo. Además, supongamos que las cámaras tienen añadido un programa para clasificar sus grabaciones entre aquellas que registran un movimiento vívido o fluido, y aquellas que registran un movimiento más lento o menos fluido, establecido por una cierta cantidad de cuadros por segundo. Suponiendo que las cámaras graban las mismas situaciones, ¿ambas cámaras clasificarán las grabaciones de la misma manera? Claramente, no. La diferencia radica en la capacidad estructural de cada cámara en grabar a cierta cantidad de cuadros por segundo. En algunos casos, la segunda cámara no será capaz de registrar un movimiento como vívido pero no porque haya alguna diferencia en el movimiento mismo, sino porque la estructura misma de la cámara. Naturalmente, la primera cámara será capaz de clasificar como vívidos o más fluidos muchos más movimientos

que la segunda. Mi punto es, precisamente, que la supuesta fluidez animada y experimentada en ciertos cambios, que permitiría inferir la experiencia del pasaje temporal, se debe simplemente a las propiedades de nuestro aparato perceptual y no a *algo más* que está en la situación experimentada. Somos capaces de percibir ciertos cambios como más fluidos y animados, e incapaces de percibir otros de la misma manera. Pero nada de ello supone que ha existido una experiencia distinta que equivalga al pasaje temporal.

Quien defienda que tenemos experiencia del pasaje temporal tiene que explicar que tenemos experiencia del cambio como un cambio-A (es decir, un cambio que además de la sucesión involucra la dinámica temporal), y no como un cambio-B (uno en el cual no hay dinámica temporal). El punto central es que sin especificar ese *algo más* que permita hablar de la experiencia del pasaje temporal, lo único que tenemos es mera experiencia del cambio, es decir, sucesión contigua de eventos cualitativamente distintos. Y la experiencia del cambio sin más es igualmente compatible, como es ampliamente sabido, tanto con las Teorías-A del tiempo como con las Teorías-B del tiempo. Akiko Frischut (2013) cree que existe un paso ilegítimo al saltar de la experiencia del cambio a una experiencia del pasaje temporal en tanto se confunde sucesión y duración con pasaje temporal. Dice:

Cuando vemos un camaleón cambiar de rojo a verde por ejemplo, vemos tal cambio como una sucesión de dos eventos (...). Una sucesión toma tiempo. No es una sorpresa que uno es consciente de la duración cuando uno es consciente del cambio y la sucesión. En otras palabras, experimentamos tiempo cuando experimentamos cambio en los objetos (...) (pero) lo mismo no es verdad en el caso del pasaje: ni el hecho que las cosas se sucedan unas a otras, ni el hecho que algunos cambios tomen tiempo implica que el tiempo pasa. Por lo tanto, podríamos tener experiencia del cambio, incluso si el tiempo no pasa (Frischut, 2013: 149).

2.2 Argumento conceptual: si el pasaje temporal es real, no es algo de lo cual podemos tener experiencia

Hasta el momento, quien defienda que tenemos experiencia del pasaje temporal tiene la carga argumentativa de mostrar qué tiene de especial tal experiencia que no pueda reducirse a una experiencia del cambio; qué es *ese algo más*. La segunda línea de argumentación pretende justamente mostrar que ese algo más, *no podría* ser objeto de experiencia, es decir, no podríamos tener experiencia de ese algo más requerido para establecer que tenemos experiencia del pasaje temporal. En otras palabras, que es imposible para nosotros tener experiencia del pasaje temporal.

La estructura del argumento es muy común y ha sido utilizada en la historia de la filosofía muchas veces, principalmente en corrientes de corte empirista. La primera premisa establece que para cualquier experiencia p , si es posible experimentar p , entonces es también posible experimentar *no p*. La premisa sencillamente hace explícita una suposición obvia respecto de nuestra experiencia: todo contenido de nuestra experiencia es contingente. Naturalmente, podríamos nunca haber tenido la experiencia p (digamos, “haber visto un ‘pichiciego’”³), pero sin embargo es muy posible imaginar que tengamos la experiencia p , bajo ciertas condiciones y ciertos contextos. Nada hay en el contenido de “tener la experiencia de ver un pichiciego” y “no haber tenido la experiencia de ver un pichiciego” que suponga algún tipo de imposibilidad respecto a formar parte, o no, del contenido *posible* de una experiencia. Es en esta línea que Hume argumenta que todo contenido de nuestra experiencia es “separable”. Y lo hace en un doble sentido (aunque existen diferentes maneras de interpretar la “separabilidad” de nuestras impresiones en Hume, ver Weintraub, 2007 y las referencias allí): primero, es perfectamente concebible para una experiencia existir independientemente de otra; segundo, que es concebible y siempre posible no tener una impresión en particular. Esto implica la famosa máxima empirista de que nunca nuestras impresiones (contenido de

³ ‘Pichiciego’ es el nombre vulgar de un pequeño mamífero roedor que habita en la región central y oeste de Argentina. Es un animal muy difícil de ver y estudiar.

experiencia) tienen la forma de “es necesario p ”, y que por lo tanto, el concepto de necesidad no puede estar fundamentado en nuestras impresiones.

Filósofos de corte empirista han utilizado estas premisas para mostrar que ciertas ideas o conceptos (famosamente, el caso del “Yo”) no pueden formar parte de nuestra experiencia porque nunca podríamos abstraerlos y concebirlos por separado. Naturalmente, de la *imposibilidad* de tener experiencia de no p , se sigue que p no es tampoco parte de nuestra experiencia, y que sería imposible que lo fuera. De nuevo, si fuera parte de nuestra experiencia, debería ser contingente; es decir, debería ser posible (al menos en el sentido mínimo de concebible) tener experiencia de no- p . Pero si se muestra que es imposible tener experiencia de no- p , entonces también es imposible tener experiencia de p . Por lo tanto, p no forma parte de nuestra experiencia. La idea de p , por lo tanto, debe provenir de otro lugar, dando ya sea una respuesta naturalista, psicologista o escéptica respecto del verdadero origen.

Uno de los filósofos del tiempo que ha explotado, esta premisa para mostrar que no podemos tener experiencia del pasaje temporal es Gal Yehezkel (2013). En esencia, la estrategia de Yehezkel es mostrar que no podemos tener experiencia del pasaje temporal porque no es posible experimentar que el tiempo no pasa. La estructura es la siguiente:

1. Si es posible experimentar el pasaje temporal, entonces es también posible experimentar que el tiempo no pasa.
2. Es imposible experimentar que el tiempo no pasa.
3. Por lo tanto, no es posible experimentar que el tiempo pasa.

La primera premisa sólo señala el carácter contingente de todo contenido de nuestra experiencia. En otras palabras, que no existe contenido en nuestra experiencia que sea necesario y que podamos experimentar como necesario. Negar la primera premisa equivaldría a afirmar que existe contenido de nuestra experiencia que no es contingente, y que por lo tanto parte del contenido de nuestra experiencia sería necesario. Si bien es cierto que una cosa es afirmar que no podemos justificar la necesidad de p mediante la experiencia, y otra cosa que p no puede ser parte del contenido de nuestra experiencia, esta asunción violaría cualquier versión empirista robusta (cualquier

vertiente humeana, e incluso, kantiana aceptaría el carácter contingente del contenido de nuestra experiencia). Quien niegue la primera premisa, por lo tanto, podría aceptar la premisa (2) pero sin la necesidad de concluir 3. El argumento presentado, por lo tanto, depende fuertemente de asumir una versión empirista robusta de acuerdo a la cual no sólo no podemos justificar verdades necesarias mediante la experiencia, sino que estas tampoco pueden formar parte del contenido de nuestra experiencia.

La segunda premisa es la central en el argumento. La mejor estrategia para mostrar su veracidad es mediante una reducción al absurdo: asumir que es posible tener experiencia de que el tiempo no pasa conduce a escenarios absurdos en sus diferentes variantes. Supongamos que es posible experimentar que el tiempo no pasa. ¿Cómo explicar el contenido de tal experiencia? Según Yehezkel, habría dos explicaciones posibles. Por un lado, que tengamos experiencia de una *realidad temporalmente dinámica* en la cual el tiempo no pasa. Por el otro lado, que tengamos experiencia de una *realidad atemporal* en la cual el tiempo no pasa. La primera es claramente una *contradictio in adjecto* para cualquier defensor del pasaje temporal como una característica objetiva de la realidad: no podría haber ninguna realidad temporalmente dinámica en la cual el tiempo no pasa. Quien niegue que el pasaje temporal es una característica objetiva del mundo no aceptará, por su parte, que tengamos experiencia de una realidad *temporalmente dinámica*, porque justamente su tesis es que tal realidad no es genuinamente temporal. La segunda explicación posible no es mejor en absoluto: si la realidad es atemporal, entonces no es claro cómo tendríamos experiencia de una realidad atemporal en la que sí exista el pasaje temporal. Precisamente, la segunda explicación exige que no exista el pasaje temporal. Dice Yehezkel:

Para intentar describir una experiencia tal, ayuda primero intentar describir una realidad atemporal. Una realidad atemporal puede pensarse como un mundo posible que consiste de sólo un instante de nuestra realidad (...) de manera similar a un cuadro único tomado de una película con movimiento. ¿Es posible para un sujeto experimentar este mundo posible como atemporal? (2013: 78).

Yehezkel da una respuesta negativa por un motivo muy simple: experimentar una realidad atemporal equivale a tener experiencia de un

único cuadro, de una única fotografía. Sin embargo, no podríamos saber que no hay tiempo si sólo experimentamos un instante. Por lo tanto, no puede ser parte del contenido de nuestra experiencia una realidad atemporal y, por ende, no podemos aprender por experiencia que el tiempo no pasa.

En esta sección he presentado dos argumentos para cuestionar la primera premisa del argumento de TIFT: que efectivamente tengamos experiencia del pasaje temporal. Ciertamente, la premisa parece intuitivamente verdadera y eso explica porque es generalmente asumida como tal; sin embargo, cuando queremos singularizar aquel contenido de la experiencia que refleja el pasaje temporal, la premisa se vuelve mucho menos obvia. Pienso que quien defienda la tesis que tenemos experiencia del pasaje temporal tiene, al menos, dos retos. Por un lado, singularizar qué es *ese algo más* en la experiencia del cambio que equivale a la experiencia del pasaje temporal. Por otro lado, rebatir el argumento conceptual de Yehezkel.

3. ¿Son las leyes de la física temporalmente simétricas?

Supongamos que los argumentos de la sección anterior se pueden superar y que tenemos razones contundentes para creer que tenemos efectivamente experiencia del pasaje temporal. Ahora bien, ¿existen argumentos desde la física para mostrar que *esa* experiencia no tiene correlato objetivo con el mundo natural según nuestras mejores teorías físicas y que por lo tanto es ilusoria? De acuerdo al argumento que respalda TIFT como fue presentado anteriormente tales argumentos si existen y radican en que las leyes dinámicas de nuestras teorías físicas son T-invariantes. Esta es la premisa que quiero evaluar y cuestionar en esta sección.

Primero, quisiera expandir un poco el argumento sobre el cual la premisa 4 descansa y cómo se vincula con TIFT. La estructura sería la siguiente:

1. Si el pasaje del tiempo es real, entonces el tiempo tiene una dirección privilegiada.
2. La noción de invariancia temporal (simetría temporal) es informativa respecto de si el tiempo tiene una dirección privilegiada: el tiempo tiene una dirección privilegiada de acuerdo a esa teoría sí y sólo si esa teoría no es T-invariante.

3. Todas nuestras teorías físicas son en realidad T-invariantes.
4. Por lo tanto, el tiempo no tiene una dirección privilegiada de acuerdo a ninguna teoría física.
5. Por lo tanto, el pasaje temporal no puede ser real.

La premisa 1 sólo expresa que el pasaje temporal es una idea compleja que implica la idea de una direccionalidad privilegiada, y creo que puede ser considerada verdadera. La premisa 2 es un enfoque usual en filosofía del tiempo para abordar el problema de la flecha del tiempo en física. La premisa puede ser discutida (ver por ejemplo Earman, 1974) y yo mismo creo que si la noción de invariancia temporal es relevante para el problema de la flecha del tiempo, es sólo en términos de ser una condición suficiente, pero no necesaria. Sin embargo, a los fines del argumento que quiero presentar en esta sección, tomaré a la premisa 2 como verdadera. Por lo tanto, voy a concentrarme exclusivamente en la premisa 3. En particular, voy a presentar dos argumentos para cuestionar la veracidad de esta premisa. Mi primer argumento consistirá en relativizar el alcance de la afirmación “nuestras teorías físicas son T-invariantes”: para que tal afirmación no sea rotundamente falsa, requiere un supuesto adicional que no siempre es tenido en cuenta, a saber, que sólo leyes *fundamentales* son relevantes para el problema de si el tiempo tiene una direccionalidad objetiva o no. Aclarado este supuesto adicional, mostraré que entonces las leyes dinámicas de las teorías físicas sí reflejan el pasaje temporal pero a una escala adecuada. Mi segundo argumento buscará mostrar que incluso al nivel de leyes dinámicas *fundamentales* no es en absoluto claro que todas ellas resulten T-invariantes en la medida en que la propia definición de “inversión temporal” puede ser interpretada de diferentes maneras.

Antes de ir al primer argumento, resulta relevante distinguir algunos conceptos que son confundidos a menudo en la literatura, a saber, el concepto de “reversibilidad” y el de “invariancia ante inversión temporal” (T-invariancia), y analizar cómo ellos se vinculan con el problema de la flecha del tiempo. Esto ayudará a elucidar cómo estoy formulando el problema de la flecha del tiempo y cómo, a mi juicio, TIFT entiende la raíz de la objeción.

Con respecto al concepto de “reversibilidad”, usualmente se lo define en función de si una secuencia de estados (s) puede ocurrir en una

dirección, $s_0 \rightarrow s_n$, así como en la contraria, $s_n \rightarrow s_0$. Conjunto de secuencias de estados generalmente constituyen evoluciones (soluciones) de una ley dinámica (ecuación de movimiento). Por lo tanto, el predicado de “ser reversible” propiamente se predica de una evolución en particular. Evoluciones irreversibles, consecuentemente, serán aquellas secuencias de estados (evoluciones como soluciones de una ecuación de movimiento) que o bien satisfacen $s_0 \rightarrow s_n$, o bien $s_n \rightarrow s_0$. En términos más técnicos, evoluciones irreversibles son aquellas que tienen “atractores en puntos finitos o infinitos del espacio de la fase” (Castagnino y Lombardi, 2009: 3), si representamos los estados en el espacio de las fases, pero la noción también puede ser generalizada para cualquier representación de la evolución (Castagnino, Gadella y Lombardi, 2005: 226). Para resumir, el concepto de reversibilidad propiamente corresponde a una propiedad que una evolución puede instanciar o no, y que generalmente está asociada con la existencia de atractores o “puntos de no retorno”.

Pasemos ahora al concepto de “inversión temporal” y al de su simetría asociada, “invariancia ante inversión temporal”. En general, la “inversión temporal” es comúnmente representada mediante un operador⁴ (T) que tiene la función de invertir el signo de la variable temporal (t) en una ecuación dinámica de una teoría física. Aunque no suficientemente reconocido, no es sencillo determinar cuál es la estructura de T en abstracto (como voy a mostrar en mi segundo argumento), pero en general se considera que debe satisfacer las siguientes condiciones mínimas:

$$(1) T: t \rightarrow -t$$

$$(2) T^2 = t$$

(3) T debe invertir todas las primeras derivadas temporales.

“Invariancia ante inversión temporal” es la simetría asociada con la transformación T y es una propiedad que se predica propiamente de las leyes dinámicas de una teoría (representadas formalmente por ecuaciones de movimiento); en particular, es la propiedad de generar evoluciones temporalmente simétricas, y el operador de inversión

⁴ En términos sencillos, un operador es una función que indica cómo mapear un cierto elemento en un espacio a otro espacio.

temporal simplemente toma una solución posible de la ecuación dinámica en, digamos, $+t$, y la transforma en otra solución posible de acuerdo a la ecuación dinámica pero con $-t$. En términos más precisos, una ley dinámica L es T -invariante si y sólo si, e_t si es una solución de L , entonces Te_t existe y es también una solución de L . La transformación, cuando conlleva una simetría, se dice que deja la estructura y el contenido físico de la ley dinámica intacto, preservando su verdad (Dasgupta, 2016: 838).

Siendo propiedades que instancian diferentes tipos de entidades matemáticas (ecuaciones de movimiento en el caso de la invariancia temporal, y soluciones de esas ecuaciones de movimiento en el caso de la noción de reversibilidad), cabe preguntarse cuál de estos conceptos está vinculado con el problema de la flecha del tiempo. La literatura los ha utilizado de manera indistinta, a menudo identificándolos o correlacionándolos. Creo que este punto tiene varias aristas que, a su vez, conllevan diferentes compromisos metafísicos y epistémicos respecto de la naturaleza de la temporalidad, la modalidad y las leyes físicas. En primer lugar, cabe remarcar que no existe ninguna incompatibilidad en que leyes simétricas ante inversión temporal produzcan evoluciones que son, en sí mismas, irreversibles. Ni que leyes temporalmente asimétricas produzcan evoluciones reversibles (ver Aiello et al., 2008 para una explicación técnica). Por ejemplo, nuestras leyes fundamentales podrían ser invariantes ante inversión temporal, pero la evolución particular de nuestro universo (entre otros posibles) resulta irreversible por la existencia de una asimetría entre las condiciones iniciales y finales del universo, o por la existencia de un atractor en alguna región del espacio-tiempo. Lo que esta situación nos diría es que la *estructura espacio-temporal* de nuestro universo es simétrica en su dimensión temporal (pues ésta está determinada por la simetría ante inversión temporal de las leyes dinámicas fundamentales), pero que *nuestro* universo, una evolución particular de esas leyes, generó cierta asimetría en la distribución temporal de la materia y la energía en él.

Este tipo de situaciones explicaría *por qué* vemos una asimetría temporal en nuestro universo. Pero contrástese con la situación en la cual nuestras leyes dinámicas fundamentales no son invariantes ante inversión temporal. Este hecho no sólo nos diría que nuestro universo tiene una asimetría estructural en la dimensión temporal del espacio-tiempo, sino que *todas* las soluciones de esa ley comparten tal estructura temporalmente asimétrica. Por ello he mencionado la noción de modalidad más arriba: si una teoría física resulta no invariante ante

inversión temporal, esto significa que o bien tiene soluciones con $+t$, o bien con $-t$, pero no ambas; esto indica que recorta modalmente los mundos físicamente posibles de acuerdo a la teoría. En la situación del párrafo anterior, soluciones con $+t$ o $-t$ eran igualmente mundos físicamente posibles de acuerdo a la teoría, más allá de que una evolución particular (la de nuestro universo por caso) resultara irreversible.

Dicho esto, retomemos la pregunta: ¿cuál de estas nociones se relaciona con el problema de la flecha del tiempo? Como fácilmente se ve, la respuesta depende de si creemos que la flecha del tiempo depende de la estructura temporal asumida por nuestras teorías (y, probablemente, tengamos un concepto realista o productivista de ley física, y ciertos compromisos con nociones modales), o si es una propiedad de nuestro mundo y de cómo la materia-energía se distribuye temporalmente en él (asumiendo, probablemente, una visión de corte más humeana y deflacionista respecto de las leyes físicas y la modalidad). En lo particular, creo que el concepto de invariancia temporal es más fuerte y es por ello que resulta más contundente para establecer una flecha del tiempo, ya que directamente alumbra las propiedades de la estructura temporal de las teorías. En última instancia, cuando nos preguntamos si el tiempo tiene una direccionalidad, queremos saber, en primera instancia, si el tiempo *en sí* mismo es asimétrico⁵ y no por qué nuestro universo luce temporalmente asimétrico. Ambas preguntas pueden relacionarse (y de hecho usualmente se las relaciona) pero son distintas y de diferente orden, exigiendo diferentes abordajes. Además, TIFT parece recaer en esta concepción porque al afirmar la irrealdad del tiempo se basa en que la estructura temporal de las teorías físicas fundamentales es simétrica (porque su dinámica es invariante ante inversión temporal) y no en que la distribución temporal de materia-energía del universo es simétrica. Por ello mismo, en lo que sigue, asumiré que el problema de la flecha del tiempo está íntimamente relacionado con la noción de invariancia temporal y no con el de reversibilidad.

⁵ Naturalmente, si uno es relacionalista respecto de la naturaleza del tiempo hablar de la asimetría del tiempo es simplemente un atajo terminológico para hablar, realmente, de la asimetría temporal de la distribución de materia y energía en el tiempo. Claramente, un relacionalista no tiene que comprometerse con tal afirmación. Pero esto nos conduciría a la discusión entre relacionistas vs. sustancialistas vs. supersustancialistas respecto de la naturaleza del tiempo, lo cual yace fuera de los alcances de este trabajo.

3.1 Experiencia, mecánica clásica y la condición de fundamentalidad

Si el tiempo tiene la propiedad de tener una direccionalidad privilegiada, y esta se manifiesta de alguna manera en la experiencia, sin duda los mejores candidatos para reflejar esta asimetría son aquellos procesos físicos que parecen ocurrir sólo en un sentido temporal pero nunca en el inverso. De hecho, tanto el mundo macroscópico (del cual tenemos experiencia directa) como el mundo microscópico están plagados de tales procesos, comúnmente llamados “irreversibles”. Por ejemplo, la expansión de un gas dentro de una caja, el derretimiento de un hielo a temperatura ambiente o el lento detenimiento de una bola de billar debido a la resistencia del aire y la fricción de la superficie son sólo algunos de los ejemplos de esta clase de comportamientos temporalmente asimétricos. Ahora bien, para que tales procesos sean relevantes para el problema de la flecha del tiempo no tienen que ser irreversibles de facto (por ejemplo, debido a ciertas condiciones iniciales o de contorno), sino que tienen que ser de iure, es decir, descriptos por alguna ley dinámica de la física que no sea T-invariante. Entonces, las leyes dinámicas que describen tales fenómenos, ¿son T-invariantes?

Tomemos un ejemplo sencillo. Una bola de billar en una mesa recibe un impulso inicial en t_1 que la pone rápidamente en movimiento. Luego de alcanzar su velocidad máxima en t_2 , la bola comienza lentamente a detenerse. En t_3 la bola de billar se detuvo por completo. De acuerdo a las leyes de la mecánica clásica, la aceleración inicial de bola se debe a una fuerza ejercida sobre ella en t_1 ; en cambio, la disminución de la velocidad entre el intervalo temporal $\Delta t = t_3 - t_2$ se debe a que la bola fue sometida a una fuerza cinemática de fricción por la superficie rugosa de la mesa.⁶ Tal evolución es descrita por la Segunda Ley de Newton, que en forma simplificada e incluyendo el factor de fricción $f_k = \mu_k n$ puede escribirse de la siguiente manera:

$$(1) \quad \Sigma F = m \, dv/dt - \mu_k n$$

⁶ Estrictamente, hay más fuerzas interviniendo en un caso real: la fuerza de resistencia ejercida por el aire, la fuerza de gravedad que atrae a la bola hacia el centro de la Tierra, etc. Por simplicidad, sólo consideraré la fuerza de rozamiento producto de la superficie de la mesa

Donde $\sum F$ es la sumatoria de las fuerzas intervinientes, m es la masa de la bola de billar, dv/dt es la aceleración (como segunda derivada temporal) y $\mu_k n$ el factor de fricción.

Ahora pensemos si existe una evolución temporalmente simétrica que sea solución de la Segunda Ley de Newton. ¿Qué esperamos ver, intuitivamente, si se invierte la dirección del tiempo? En teoría, uno esperaría ver una bola de billar que en t_3 espontáneamente comienza a acelerarse de manera suave y constante, en t_2 alcanza su velocidad máxima y a partir de ahí comienza rápidamente a disminuir su velocidad hasta detenerse. Pero tal evolución claramente no es una solución posible para las leyes dinámicas de la mecánica clásica en tanto implica que puede haber aceleración sin fuerza, lo cual está rotundamente prohibido por la teoría. Además, la desaceleración en el intervalo $\Delta t = t_1 - t_2$ no puede ser adjudicada a la fuerza cinética de fricción en la medida en que no es consistente con el factor de fricción de la superficie, implicando que *espontáneamente* la bola comienza a desacelerarse, sin ninguna fuerza interviniendo. Esta situación se refleja en que la ecuación (1) efectivamente no es T-invariante, ya que la ecuación temporalmente invertida no es simétrica respecto de la ecuación original.

En realidad, cualquier sistema físico que involucre algún grado de interacción o alguna fuerza no conservativa (como fricción) será generalmente descrito por leyes dinámicas no T-invariantes. Y el punto es que la enorme mayoría de los sistemas físicos a nuestro alrededor y en la microfísica está sujeto a algún grado de interacción o es afectado por alguna fuerza no conservativa.

Entonces, ¿por qué se suele decir, tal como expresado en el argumento para defender TIFT, que las leyes dinámicas de la física son temporalmente simétricas? El secreto está en que hay una premisa implícita en tal afirmación y es la siguiente: sistemas que involucren alguna interacción específica o fuerzas no conservativas (i.e. sistemas no conservativos) no deberían ser tomados seriamente para abordar el problema de la flecha del tiempo (lo cual, a su vez, muestra cómo TIFT entiende la flecha del tiempo en términos de invariancia temporal y no de reversibilidad, como fue explicado más arriba). En su lugar, deberíamos concentrar nuestra atención en aquellos sistemas libres de cualquier interacción específica y no sujetos a ninguna fuerza no conservativa. Son las leyes dinámicas *fundamentales* las relevantes para investigar las propiedades del tiempo, y no aquellas leyes dinámicas

“fenomenológicas” que describen sistemas no conservativos. Craig Callender (1995) ha hecho explícito este supuesto al afirmar que:

Desconsideramos fuerzas “fenoménicas” y focalizamos en aquellas “fundamentales” cuando decidimos si una teoría y el sistema que describe son T-invariantes. Cuando preguntamos si el universo es T-invariante, queremos saber si es T-invariante *en el fondo* (Callender, 1995: 333).

Llamaré “condición de fundamentalidad” (CF en adelante) a este requisito. El argumento de Callender para defender CF se basa en que la ontología fundamental de la mecánica clásica sólo consiste en partículas en movimiento y en fuerzas que dependen de la distancia de las partículas;⁷ por lo tanto, en algún sentido, las fuerzas no conservativas no forman parte de la ontología fundamental de la mecánica clásica. Por supuesto, cuando consideramos ahora la Segunda Ley de Newton en su forma fundamental, haciendo a un lado cualquier sistema no conservativo y, por lo tanto, fuerzas no conservativas, la ecuación es evidentemente T-invariante:

$$(2) \sum F_n = m \, dv/dt = \sum T F_n = m \, T dv/T dt = \sum F_n = m \, dv/dt$$

En esencia, la ley dinámica fundamental es T-invariante por su estructura misma: ya que la aceleración es una derivada segunda del tiempo, se sigue *formalmente* que la aceleración permanece invariante ante la aplicación de T. Si, por ejemplo, la Segunda Ley fuese $\sum F_n = mv$ en lugar de $\sum F_n = ma$, claramente la ley no sería T-invariante.

En virtud de lo dicho hasta el momento, aceptar o negar que las leyes de la física sean T-invariantes depende, al menos en principio, de aceptar o no CF. Keith Hutchinson (1993, 1995) ha argumentado que la mecánica clásica no es T-invariante al negar CF. Su argumento es que es parte fundamental de la enseñanza, el aprendizaje y la actividad científica en mecánica clásica considerar a los sistemas no-

⁷ Nótese que para Callender, la ontología fundamental de la mecánica clásica no incluye fuerzas conservativas, las cuales no dependerían de la distancia entre partículas, sino que se derivarían de la existencia de un potencial. Por ello mismo, sólo preserva en la ontología fundamental fuerzas que *sí* dependen de la distancia entre partículas.

conservativos como *reales* y no pueden ser excluidos sin más de la ontología relevante de la teoría (Hutchinson, 1995: 310). Yo creo que hay buenos motivos para conservar CF como una condición relevante para abordar el problema de la flecha del tiempo, pero creo que los motivos no dependen de comprometerse con la distinción entre una ontología relevante y fundamental, y una ontología fenoménica, tal como Callender propone. Sin embargo, comprometerse con CF a la vez implica abandonar cualquier referencia a la asimetría temporal al nivel de la experiencia. Si las leyes fundamentales efectivamente reflejan una asimetría temporal fundamental, esta es independiente de si tenemos alguna clase de evidencia empírica de una flecha del tiempo. Expandiré el significado de esta afirmación más adelante.

En física es usual suponer que las simetrías espacio-temporales que una teoría satisfaga son relevantes para describir la estructura espacio-temporal que tal teoría supone. Por ejemplo, que las leyes dinámicas de una teoría sean invariantes ante traslación temporal, implican que la estructura espacial que la teoría asume es isotrópica. De la misma manera, cualquier asimetría ante una transformación espacio-temporal señalaría que las leyes dinámicas requieren una estructura espacio-temporal particular para poder ser formuladas (ver por ejemplo Earman, 1974; Sklar, 1974; North, 2009). Sin embargo, tal suposición no involucra cualquier ecuación dinámica de la teoría sino a aquellas en su expresión más pura o fundamental, es decir, aquellas que no involucran ninguna fuerza no-conservativa o interacción específica. El motivo es sencillo: sólo a partir de ellas es posible deducir que una asimetría espacio-temporal en la ley se debe a una asimetría en la estructura espacio-temporal y no a una fuerza que interviene (por ejemplo, un enorme atractor en alguna región del universo que simula que el espacio es asimétrico). Esta suposición, claramente, no involucra distinguir entre una ontología fundamental y una fenoménica, sino que simplemente afirma que sólo ecuaciones dinámicas libres de interacciones y fuerzas permiten “leer” la estructura espacio-temporal de forma más transparente.

Aceptar CF como una demanda necesaria para el problema de la flecha del tiempo creo que es correcto; de otra manera, tal como señalé más arriba, el problema de la flecha del tiempo sería filosóficamente muy poco interesante ya que todas las teorías físicas involucran ecuaciones dinámicas no T-invariantes. Sin embargo, el punto que quiero marcar es: ¿una supuesta simetría temporal en las ecuaciones fundamentales implica en algún sentido que nuestra experiencia del pasaje temporal

no es real? Yo creo que hay una especie de trivialidad en el argumento cuando se intenta vincular CF con la experiencia de la direccionalidad del tiempo, la cual está respaldada en ecuaciones dinámicas que involucran algún grado de interacción y fuerzas no conservativas.

Por un lado, CF implica que la experiencia de la direccionalidad temporal es necesariamente no fundamental y que si es real en algún sentido, su realidad no puede estar vinculada con cualquier potencial asimetría temporal a nivel fundamental. El punto es que CF descarta precisamente aquellos sistemas mediante los cuales fundamentamos nuestra experiencia temporalmente asimétrica, y en ese sentido, cualquier conclusión que esté mediada por CF es neutral respecto a si la asimetría temporal experimentada es real o no. Lo que si sabemos, es que la física sí ofrece buenos motivos para tomar nuestra experiencia de la asimetría temporal seriamente en la medida en que los procesos por los cuales tenemos experiencia de esa asimetría son descritos por leyes dinámicas no T-invariantes.⁸ Pero cuando CF entra en escena, lo que impone es que hagamos abstracción de aquello que creíamos que hacía temporalmente asimétrico a nuestro mundo. Esto en absoluto implica que tal experiencia sea real o no, sino que es independiente de cualquier conclusión que podamos obtener al introducir CF en el razonamiento. Dicho de otro modo, si descubriéramos, mediante este ejercicio, que en su nivel fundamental las leyes físicas son no T-invariantes, este hecho, si bien fundamenta una flecha del tiempo objetiva, no es lo que explica nuestra experiencia temporalmente asimétrica, la cual se explica a partir de la introducción de interacciones o fuerzas no conservativas en la descripción.

Por otro lado, si creemos que debe existir una vinculación entre CF y nuestra experiencia temporalmente asimétrica, el argumento resulta un poco extraño. Supongamos que las leyes dinámicas fundamentales de la mecánica clásica son T-invariantes. En lugar de mostrar cómo es que nuestra experiencia temporal no puede ser real, primero se declara que aquello en lo que se fundamenta tal experiencia no es lo relevante, y

⁸ Vale aclarar que tales procesos son, usualmente, también irreversibles. Pero, como se mencionó anteriormente, el problema de la flecha del tiempo depende de la simetría temporal de las ecuaciones dinámicas y no de si una evolución en particular es irreversible o no. Lo segundo explica por qué vemos un comportamiento asimétrico de los procesos; lo primero, si la estructura temporal supuesta por la teoría es asimétrica.

que en su lugar debemos centrar nuestra atención en aquellos sistemas y leyes dinámicas que *por definición* están libres de aquellos elementos que motivaban nuestra experiencia de un tiempo unidireccional. Tales sistemas generalmente son embebidos en modelos sumamente ideales, prácticamente atemporales. Pero, además, cualquier experiencia sería completamente engañosa respecto de la dirección temporal casi por definición, ya que no tenemos experiencia alguna de la estructura espacio-temporal de una teoría física, sino que inferimos sus propiedades a partir del formalismo de la teoría y cómo se comporta mediante diversas operaciones matemáticas. Incluso si las leyes fundamentales no fueran T-invariantes, lo que experimentemos o dejemos de experimentar es irrelevante.

Si aceptamos que sistemas no conservativos y ecuaciones dinámicas que involucren interacciones o fuerzas disipativas son relevantes para establecer una direccionalidad temporal en la física, entonces nuestra experiencia de un mundo temporalmente asimétrico está completamente fundamentada en la física. No hay ningún desacuerdo en este punto. Si, por el contrario, demandamos CF, el desacuerdo entre experiencia y física es dictaminado casi por definición: aquello en lo cual deberíamos fijar nuestra atención para discutir el problema de la flecha del tiempo es precisamente aquello de lo cual no podemos tener ninguna experiencia, y de aquello de la cual tenemos experiencia es irrelevante para el problema de la flecha del tiempo. En el mejor de los casos, sólo podemos establecer que existen dos esferas disociadas: aquella de la cual tenemos experiencia y conforme a la física sin comprometernos con CF, y aquella de la cual no tenemos ningún tipo de experiencia, y que la física aborda CF mediante. Las conclusiones filosóficas extraídas en cada esfera no parecen ser relevantes para la otra esfera; y por lo tanto, no podrían actuar ni como negación ni como afirmación de una u otra.

Este razonamiento, sumado a lo dicho en la Sección 2, podría conducir a sostener una posición que parecería sorprendente a primera instancia: que no tenemos experiencia alguna del pasaje temporal (y por lo tanto de su *direccionalidad*) pero que su direccionalidad es una característica objetiva del mundo físico, probado que determinamos que existen leyes no T-invariantes. El grado de sorpresa, creo, depende de cómo entendamos el problema de la flecha del tiempo, lo cual conlleva compromisos filosóficos previos tal como mencioné anteriormente. Bajo el enfoque adoptado, donde el problema de la flecha del tiempo se relaciona íntimamente con la estructura temporal supuesta por una

teoría física y está “codificada” en las simetrías que su dinámica satisface, creo que la sorpresa debería desvanecerse. Un aspecto del problema es dónde metafísicamente recae la existencia de ciertas propiedades de la estructura espacio-temporal (donde la flecha del tiempo es una propiedad más, concerniente a la dimensión temporal), otro problema es cuáles son las motivaciones epistémicas para pensar que existe algo así como una asimetría temporal. Que creamos que experimentamos una asimetría temporal y que tal asimetría temporal efectivamente exista, no implica que nuestra experiencia sea la experiencia de la asimetría temporal, ni que tal asimetría temporal radique en nuestra experiencia. Además, asimetrías materiales en el tiempo *supervendrían* sobre la asimetría temporal fundamental bajo el razonamiento que propongo.

Considérese el siguiente ejemplo concreto: algunos autores han argumentado que la flecha del tiempo radica en una asimetría geométrica global del espacio-tiempo en su dimensión temporal (ver Castagnino y Lombardi, 2009): la flecha del tiempo *es* tal asimetría geométrica, pero uno no se comprometería fácilmente a afirmar que tenemos experiencia de tal asimetría geométrica del espacio-tiempo en su dimensión temporal por obvias razones. De lo que sí podríamos tener experiencia es de los efectos que tal asimetría temporal produce en términos locales, como ser, un flujo asimétrico de energía a nivel local. Sin embargo, es claro que la flecha del tiempo no es tal flujo de energía, sino que es su manifestación o efecto. O, en otras palabras, el flujo asimétrico de energía a nivel local superviene sobre la asimetría geométrica global del tiempo.

3.2. Inversión temporal, ¿un concepto, muchas representaciones?

Hagamos a un lado las consideraciones de la sección anterior, y supongamos que el hecho que las leyes *fundamentales* de la física sean T-invariantes pone en entredicho la experiencia del pasaje temporal. Tal como mencioné anteriormente, parece haber un fuerte acuerdo en la comunidad científica y filosófica acerca de que las leyes dinámicas fundamentales son efectivamente T-invariantes. Creo que deberíamos tomar tales afirmaciones con mucha cautela. El punto es el siguiente: que una ecuación dinámica sea T-invariante significa que permanece simétrica ante la transformación o las transformaciones que T lleva a cabo sobre las observables, estados y operadores relevantes que aparecen en la ecuación; sin embargo, no parece haber un acuerdo entre filósofos y científicos acerca de cómo caracterizar T . Este hecho no ha sido suficientemente tomado en cuenta en la discusión filosófica, y se

suele asumir que el dictum “todas nuestras leyes fundamentales son invariantes ante inversión temporal” es válido en un mismo sentido, y ante un mismo respecto. Pero esto no es cierto: el operador de inversión temporal no es sólo *relativo* a la teoría, sino que además puede encarnar diferentes objetivos a la hora de establecer qué busca representar.

Esto ha conducido a que, ante ciertas caracterizaciones de T , una ecuación dinámica sea invariante, mientras que ante otras no lo sea. Esto naturalmente lleva a una situación un poco incómoda: que una ecuación dinámica (y por lo tanto una teoría) sea o no T -invariante, depende de cómo caractericemos el operador que formalmente representa la acción, lo cual relativiza fuertemente la afirmación de que las leyes fundamentales de la física son T -invariantes. Si bien este punto no es usualmente discutido en la literatura, sí ha sido relativamente bien abordado para el caso del electromagnetismo clásico y el problema de cómo el campo magnético debe comportarse ante inversión temporal. El caso de estudio es simple y permite ver lo marcado en el punto anterior con claridad, a la vez que permite dilucidar los diferentes criterios en juego para caracterizar el operador de inversión temporal. Sin embargo, creo que este es un fenómeno mucho más general que emerge en diferentes teorías, particularmente, en mecánica cuántica estándar e incluso teoría cuántica de campos. Al final, ofreceré algunas líneas de cómo el mismo problema emerge allí.⁹

Las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo clásico son las cuatro ecuaciones de Maxwell más la ley de fuerza de Lorentz. Para saber si el electromagnetismo clásico es T -invariante, lo que hay que hacer es testear cómo se comporta cada una de sus ecuaciones ante la operación de invertir la dirección del tiempo: si al menos una de sus ecuaciones resulta no T -invariante, entonces la teoría permite distinguir entre ambas direcciones temporales. Las cuatro ecuaciones de Maxwell son:

$$(1) \quad \nabla \cdot E = \rho$$

⁹ Lo que sigue sólo es válido para teorías no-relativistas, aunque podría extenderse a teoría cuántica de campos. No haré menciones al respecto, pero sería sumamente interesante discutir las diferentes formas de definir un operador de inversión temporal en teoría cuántica de campos por motivos que ya se encuentran en mecánica cuántica no-relativista.

$$(2) \quad \nabla \times B = \partial E / \partial t + j$$

$$(3) \quad \nabla \cdot B = 0$$

$$(4) \quad \nabla \times E = - \partial B / \partial t$$

Y la ley de fuerza de Lorentz:

$$(5) \quad F = q(E + v \times B)$$

Donde E es el campo eléctrico, B es el campo magnético, J es la densidad de la corriente eléctrica, ρ la densidad de la carga eléctrica, t la variable temporal y ∇ es un operador de gradiente.

Al presentar la simetría temporal en el electromagnetismo clásico, rápidamente los libros de texto muestran que (1), (3), (4) y (5) son ecuaciones T-invariantes. Sin embargo, la segunda ecuación (también llamada Ley de Ampere) puede resultar problemática. El punto de conflicto es que no es muy claro cómo algunas variables que aparecen en la ecuación deben comportarse ante T, en particular, el campo magnético B . De acuerdo a los libros de texto:

$$(2b) \quad T(\nabla \times B) = T \partial E / T \partial t + T j$$

Debe transformarse de la siguiente manera:

$$(2c) \quad \nabla \times B = - (\partial E / \partial t + j)$$

Lo cual conduce a que la ecuación sea T-invariante y, por lo tanto, que el electromagnetismo clásico sea T-invariante.

Sin embargo, David Albert (2000) ha argumentado que el electromagnetismo clásico no es T-invariante porque precisamente la Ley de Ampere no lo es. Al aplicar el operador T a la Ley de Ampere, lo que Albert obtiene es:

$$(2d) \quad \nabla \times B = - (\partial E / \partial t + j)$$

Claramente, hay una asimetría entre las expresiones a ambos lados de la igualdad. El argumento que brinda Albert para deducir que la Ley de Ampere no es T-invariante es que el campo magnético no debería

transformar ante T porque, según su punto de vista, magnitudes fundamentales de la teoría (es decir, aquellas que son primitivas y no están definidas en función de otras magnitudes) no deben verse afectadas por T . Solamente aquellas magnitudes derivadas (en especial las que están definidas en función del tiempo) son las que deben transformarse ante la aplicación del operador T .

A su vez, Paul Horwich (1987) ha argumentado que el electromagnetismo clásico sí es T -invariante y que la Ley de Ampere sí es T -invariante, acordando con la manera en la que los libros de texto presentan la simetría temporal en electromagnetismo clásico. Las razones que Horwich presenta divergen respecto de las de Albert al nivel de cómo entender conceptualmente la transformación que T lleva a cabo. Horwich no presupone que sólo magnitudes derivadas deben transformarse ante T ; en cambio, él apela a nuestras intuiciones físicas respecto de cómo interpretar tales cantidades en relación a la direccionalidad temporal. Según Horwich, existe una analogía entre el campo magnético y la dirección del flujo de electrones en un cable, lo cual lo lleva a considerar el campo magnético como una especie de velocidad. Y como la dirección del flujo de electrones en un cable debería transformarse ante inversión temporal, se supone que el campo magnético debiera comportarse de manera similar (Horwich, 1987; ver Lakhtakia, 1993 para una presentación formal de simetría temporal en electromagnetismo).

A pesar de llegar a diferentes conclusiones, el enfoque utilizado por Albert y Horwich acuerda en la metodología utilizada para definir el operador T : dada las ecuaciones dinámicas de una teoría y cómo las magnitudes están definidas en esa teoría, uno tiene que elucidar cómo esas magnitudes se deberían comportar ante inversión temporal. Es decir, el operador T debe caracterizarse en función de cómo pensamos que una inversión del tiempo afecta las magnitudes definidas en la teoría; y luego de haber elucidado este punto, aplicamos el operador en la ecuación para saber si es o no T -invariante. Claramente, el punto de divergencia entre Albert y Horwich radica justamente en cómo pensamos que el campo magnético debe comportarse ante la inversión de la dirección temporal. Daniel Peterson (2015) afirma que diferentes intuiciones físicas respecto de la relación entre magnitudes físicas e inversión temporal conducen a diferentes caracterizaciones de T .

Sin embargo, existe un desacuerdo aún mayor en la bibliografía filosófica sobre inversión temporal y electromagnetismo clásico:

algunos autores ni siquiera acuerdan en que la metodología utilizada por Albert y Horwich para definir el operador T sea la adecuada. Frank Arntzenius y Hillargy Greaves (2009) afirman que la metodología usual para caracterizar el operador T es muy diferente:

Consideremos a continuación el campo eléctrico y el campo magnético. ¿Cómo deben transformar bajo inversión temporal? El procedimiento usual es simplemente asumir que el electromagnetismo clásico es invariante ante inversión temporal. A partir de este supuesto de invariancia temporal de la teoría (...) se infiere que el campo eléctrico E es invariante ante inversión temporal, mientras que el campo magnético no lo es (Arntzenius y Greaves, 2009: 6).

La metodología que Arntzenius y Greaves presentan (que ellos denominan “el enfoque de los libros de texto”) difiere de la asumida por Albert y Horwich al nivel de las motivaciones y objetivos mismos de definir un operador de inversión temporal: la metodología de Arntzenius y Greaves está guiada por establecer bajo qué conjunto de operaciones la ecuación resulta invariante; la asumida por Horwich y Albert no supone que la teoría es invariante de antemano, sino que busca deducir cómo cada magnitud se debería comportar ante inversión temporal y a partir de ahí investigar *si* la teoría es o no invariante. Nótese que, en el primer caso, la teoría no podría no ser invariante porque es la misma definición del operador T la que lo supone; en el segundo caso, la pregunta está abierta aunque depende fuertemente, como dice Peterson, de nuestras intuiciones físicas respecto del efecto de invertir el tiempo sobre las magnitudes de la teoría.

A la luz de lo dicho anteriormente, al momento de discutir las propiedades del operador de inversión temporal se manifiestan diferentes presupuestos. Por un lado, conviven diferentes enfoques respecto de cómo entender las simetrías de una teoría física. Tanto Horwich como Albert presuponen que la simetría temporal es una propiedad contingente de la dinámica (ver, por ejemplo, Earman, 1989): ellos simplemente tienen diferentes intuiciones físicas respecto de cómo ciertas magnitudes deben comportarse ante inversión temporal, pero ninguno presupone que la teoría no podría ser no invariante. El enfoque presentado por Arntzenius y Greaves es completamente diferente en tanto asume *a priori* que la teoría tiene que ser simétrica ante inversión

temporal. Esto conduce a entender que las simetrías de una teoría (o al menos algunas de ellas) no son propiedades contingentes de la dinámica, sino más bien “guías” en la construcción de la dinámica (ver, por ejemplo, Brading y Castellani, 2007). Según este enfoque, uno primero postula que cualquier dinámica razonable *debe* cumplir ciertas simetrías, y luego especifica la dinámica acorde con tales simetrías y detalla las propiedades que las transformaciones de simetría respectivas tienen que poseer.

Esta discusión concierne más generalmente al estatus que las simetrías tienen en física, y escapan al alcance de este trabajo. Pero creo que la discusión atraviesa transversalmente el problema de la flecha del tiempo en cuanto uno tiene que especificar las propiedades del operador de inversión temporal: ¿lo haremos siguiendo un enfoque que concibe que la teoría *debe* ser invariante ante inversión temporal, y por lo tanto, deduciremos de allí sus propiedades? ¿O, por el contrario, recaeremos en nuestras intuiciones físicas a la hora de determinar cómo estados, observables y operadores deben transformar ante inversión temporal? Notablemente, y esto podría acarrear un replanteo del problema de la flecha del tiempo en términos de simetrías, la pregunta respecto de si el tiempo tiene una direccionalidad privilegiada parece asumir un enfoque donde la simetría es contingente. De otra manera, ¿qué sentido tendría preguntarse si efectivamente la teoría es simétrica o no ante inversión temporal? ¡Lo sería, siempre, de antemano! Sin embargo, el procedimiento usual en física a la hora de definir simetrías y los operadores de transformación de simetría, parecen asumir el enfoque contrario, tal como Arntzenius y Greaves afirman. Esto conduce a una pregunta filosófica general: si las leyes fundamentales de la física son T-invariantes ante un enfoque de simetrías que dictamina que tales leyes *no podrían* ser no T-invariantes, ¿qué lección filosófica respecto de la realidad del tiempo deberíamos extraer de allí? Concerniendo mi discusión: ¿cómo deberíamos tomar TIFT en este caso?

Pero existe, también, un problema adicional concerniente a la visión subyacente en Horwich y Albert. Probablemente confiar en nuestras intuiciones físicas para determinar cuáles magnitudes son fundamentales en una teoría, y cómo se deben comportar ante inversión temporal, funcione bien en ciertos contextos teóricos, como la mecánica clásica o el electromagnetismo clásico (incluso con las disidencias remarcadas). Sin embargo, ¿podemos recaer en tales intuiciones físicas a medida que nos vamos moviendo a teorías más abstractas y más fundamentales?

¿Qué sucede en teoría cuántica de campos o en gravedad cuántica? No es claro que tal criterio resulte igualmente operativo en todas las teorías en las cuales queramos indagar propiedades del tiempo. Incluso, como es bien sabido, la ontología misma de las teorías cuánticas es ampliamente discutida en la actualidad, no habiendo consenso alguno en la comunidad científica y filosófica al respecto.

El punto que quiero marcar en este artículo no es cuál sería el enfoque adecuado, sino que en la discusión conviven y se entremezclan diferentes enfoques, lo cual conduce a minar una de las premisas centrales de TIFT. Y esto no es, en absoluto, usualmente advertido. Tal como mencioné más arriba el caso del electromagnetismo es fácil de entender y ver las discrepancias, pero el problema también aparece en otras teorías consideradas más fundamentales, aunque a discusión ha sido muy poco desarrollada en la literatura. Por ejemplo, una situación análoga –*mutatis mutandis*– también surge en mecánica cuántica estándar a la hora de evaluar si la ecuación de Schrödinger es o no invariante ante inversión temporal. Brevemente, el punto de debate es que uno podría definir el operador de inversión temporal de dos maneras: mediante un operador *unitario* (que simplemente transforma $t \rightarrow -t$), o mediante un operador *anti-unitario* (que además de transformar la variable t , conjuga). Usualmente, el operador unitario es descartado porque transforma ciertos observables de la manera inadecuada, en particular, transforma el signo del hamiltoniano. Esto conlleva a que la ecuación de Schrödinger sea no invariante ante el operador unitario de inversión temporal, y consecuentemente, es descartado como una transformación de simetría no válida. En su lugar, se define un operador anti-unitario que, al conjugar e introducir otras transformaciones no posibles con el operador unitario, restaura la simetría de la ecuación de Schrödinger al mantener invariante el hamiltoniano. De nuevo, las decisiones respecto de qué operador utilizar se fundamentan en qué compromisos metodológicos y metafísicos previos se hayan asumido. Craig Callender (2000), por ejemplo, ha argumentado que es el operador unitario el que fielmente representa inversión temporal, mientras que el anti-unitario representa inversión del movimiento. Si bien Callender no es explícito al respecto, lo que subyace a tal decisión es, entre otras cosas, la identificación o separación entre tiempo y movimiento.

La definición canónica del operador anti-unitario de inversión temporal en mecánica cuántica estándar sigue fielmente la identificación entre tiempo y movimiento, y por ello es usualmente definido en

términos de una *involución*. Invertir la dirección del tiempo es generar la involución que invierta el movimiento. Eugene Wigner (1932) ha ofrecido probablemente la mejor definición de este operador. De acuerdo a Wigner, el operador de inversión temporal debe tomar un estado inicial, hacerlo evolucionar (o trasladarlo temporalmente), invertir la dirección del tiempo, hacerlo evolucionar de nuevo (o trasladarlo temporalmente de manera similar), e invertir el tiempo de nuevo. Si el estado final es el mismo que el estado inicial, entonces la simetría temporal se sostiene. Pero nótese que el operador de inversión temporal es definido para realizar *esa* tarea, la cual es una involución, y que si fallase en producir tal involución, significaría que el operador está mal definido. Pero la definición de Callender es diferente: él identifica el operador de inversión temporal con la acción de *reflejar*, o *espejar*, la orientación temporal. La mecánica cuántica estándar parece ser simétrica ante la primera, pero asimétrica ante la segunda.

Con respecto a nuestra discusión en relación con TIFT, uno puede de nuevo utilizar estos argumentos para socavar la premisa que las leyes de la física, en su nivel fundamental, son invariantes ante *inversión temporal*: no sólo existen diferentes caracterizaciones del operador T que conducen a diferentes resultados frente a si una ecuación es o no T -invariante, sino que además existen diferentes metodologías guiadas por diferentes propósitos. El punto central es que la afirmación de que “nuestras leyes dinámicas fundamentales son T -invariantes” debe ser no sólo fuertemente relativizada, sino que debe tomarse con mucho cuidado: ¿ante qué tipo de enfoque y bajo cuáles supuestos llevamos a cabo tal afirmación? ¿Ante qué metodología? ¿Cuáles son los supuestos metafísicos que sustentan tal enfoque? La situación no es sencilla de interpretar, ya que a pesar de sus variedades y las conclusiones a las que cada caracterización conduce, los diferentes operadores de inversión temporal pretenden formalmente representar la misma idea de “invertir el tiempo”, con lo cual tenemos un mismo concepto (el de inversión temporal y su posible simetría), matemáticamente representado por diferentes entidades matemáticas (cada operador T en particular). Sin embargo, si una simetría se define a partir de cómo su operador actúa sobre las diferentes magnitudes (tal como afirma Callender, 2000), cada operador en realidad estaría definiendo diferentes simetrías. Cabe preguntarse, ¿cuál de todas ellas representa genuinamente la inversión temporal y la simetría temporal? Este punto merece seria atención por parte de filósofos del tiempo y filósofos de la física, ya que podría

poner en entredicho la relevancia y pertinencia filosófica de abordar el problema de la flecha de tiempo en términos de inversión temporal y T-invariancia. Pero este punto escapa a los alcances de este artículo.

Para resumir este último argumento. Incluso asumiendo que el carácter T-invariante de las leyes fundamentales podría cuestionar nuestra experiencia del pasaje temporal (afirmación contra la que argumenté en la Sección 4.1), no creo que tal carácter deba ser tomado como obvio. Tomando como caso el electromagnetismo clásico, he mostrado que, en primer lugar, no sólo no existe una única caracterización del operador T , sino que no todas las caracterizaciones conducen a los mismos resultados respecto de si la Ley de Ampere es T-invariante. Esto naturalmente conduce a relativizar y a tomar con mucha precaución la afirmación que las ecuaciones fundamentales son T-invariantes. En segundo lugar, señalé que incluso las diferentes representaciones matemáticas del concepto de inversión temporal en realidad podrían estar representando diferentes simetrías, lo cual conlleva a una pregunta y una discusión mucho más profunda: ¿cuál de todos los operadores que pretenden representar la inversión temporal es el verdadero? No quiero afirmar que en verdad deberíamos asumir que las ecuaciones fundamentales no son T-invariantes; sino que debemos ser muy cuidadosos al afirmar tanto una cosa como la otra. Pero, ante esta situación, creo que los defensores de TIFT encuentran que su premisa física resulta menos contundente y más problemática de lo que suponen; y aunque no refuta completamente su argumentación, si echa un manto de dudas sobre ella.

4. Comentarios finales

En este artículo he argumentado contra una extendida tesis respecto de la relación entre la experiencia del pasaje temporal y la física. De acuerdo a esta tesis, que he denominado, TIFT nuestra experiencia del pasaje temporal debe ser considerada ilusoria ya que existen argumentos físicos para mostrar que el pasaje temporal no es una característica objetiva del mundo natural. Luego de presentar con claridad TIFT, señalé dos premisas en la argumentación de TIFT que son conflictivas: que *efectivamente* tenemos experiencia del pasaje temporal (premisa 1) y que las leyes dinámicas de la física son T-invariantes (premisa 3).

En primer lugar (Sección 2) mostré que no deberíamos tomar por obvia la premisa 1 y que existen buenos motivos para sostener que en

realidad no tenemos experiencia alguna que equivalga a una experiencia del pasaje temporal. En este caso, la carga de la prueba la tiene quien defiende que *efectivamente* tenemos experiencia del pasaje temporal y debe mostrar cuál es el contenido de esa experiencia que equivale al pasaje temporal. Además, debe superar el argumento que establece que si el pasaje temporal es real, no podríamos tener experiencia de él.

En segundo lugar (Sección 3), argumenté en contra de la premisa 4. Primero, señalé que no es claro cuál es el vínculo entre una supuesta experiencia temporal y el carácter T-invariante de las leyes físicas; como mostré, al nivel adecuado de descripción, las leyes dinámicas de la física no son T-invariantes y por lo tanto están en consonancia con nuestra experiencia de un mundo temporalmente asimétrico. Sin embargo, la premisa 4 podría ser defendida en caso que uno sólo considere leyes dinámicas *fundamentales* (lo que llamé “condición de fundamentalidad”, CF): por ejemplo, las leyes fundamentales de la mecánica clásica son, en efecto, T-invariantes. A continuación, argumenté que sin embargo hay casos donde no resulta sencillo establecer si una ley dinámica fundamental es o no T-invariante. Tomando al electromagnetismo clásico como caso de estudio, y mencionando una situación análoga en mecánica cuántica estándar, mostré que existen diferentes caracterizaciones e incluso diferentes metodologías para establecer cuáles son las propiedades del operador T. Si bien esto no demuestra que en realidad existen leyes dinámicas fundamentales no T-invariantes, sí recorta el alcance y la contundencia de la premisa 3.

TIFT tiene diferentes instanciaciones y cómo señalé recurre a diferentes argumentos físicos para apuntalar su tesis principal. Este artículo sólo ha pretendido desarmar una de las posibles vías de TIFT, pero seguramente quedan otras abiertas. Es una tarea futura de los filósofos de la física y del tiempo, en particular de aquellos que tienen la intuición filosófica que el tiempo tiene algún tipo de existencia objetiva en el mundo físico, explorar y discutir tales vías.

Referencias

- Aiello, M., Castagnino, M., y Lombardi, O. (2008). The Arrow of Time: from Universe Time-Symmetry to Local Irreversible Processes. *Foundations of Physics*, 38, 257-292.
- Albert, D. Z. (2000). *Time and Chance*. Cambridge, MA.: Harvard University Press.

- Arntzenius, F. y Greaves, H. (2009). Time Reversal in Classical Electromagnetism. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 60, 557-584.
- Arntzenius, F. (1995). Indeterminism and the Direction of Time. *Topoi*, 14, 67-81.
- Barbour, J. (1999). *The End of Time: The Next Revolution in Physics*. New York: Oxford University Press.
- Brading, K. y Castellani, E. (2007). Symmetries and Invariances in Classical Physics. En J. Butterfield y J. Earman (eds.), *Handbook of the Philosophy of Science, Philosophy of Physics, Part B*. (pp. 331-367). The Netherlands: Elsevier.
- Callender, C. (1995). The Metaphysics of Time Reversal: Hutchison on Classical Mechanics. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 46, 331-340.
- ____ (2000). Is Time 'Handed' in a Quantum World? *Proceedings of the Aristotelian Society*, 100, 247-269.
- ____ (2010). Does Time Really Exist? *Scientific American*, 302(6), 58-65.
- ____ (2011). Thermodynamic Asymmetry in Time. En E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2011/entries/time-thermo/>
- Castagnino, M., Gadella, M., y Lombardi, O. (2008). Time's Arrow and Irreversibility in Time-Asymmetric Quantum Mechanics. *International Studies in the Philosophy of Science*, 19(3), 223-243.
- Castagnino, M. y Lombardi, O. (2009). The Global Non-Entropic Arrow of Time: from Global Geometrical Asymmetry to Local Energy Flow. *Synthese*, 169, 1-25.
- Craig, W. (2000). *The Tensed Theory of Time: A Critical Examination*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Dasgupta, S. (2016). Symmetry as an Epistemic Notion (Twice Over). *British Journal for Philosophy of Science*, 67, 837-878.
- Davies, P. (1995). *About Time: Einstein's Unfinished Revolution*. Harmondsworth: Penguin.
- Earman, J. (1974). An Attempt to Add a Little Direction to 'The Problem of the Direction of Time', *Philosophy of Science*, 41, 15-47.
- ____ (1989). *World Enough and Space-Time: Absolute versus Relational Theories of Space and Time*. Cambridge, MA: MIT press.
- Frischhut, A. (2013). What Experience Cannot Teach Us about Time. *Topoi*, 34(1), 143-155.

- Grib, S. y Thébault, K. 2016. Time Remains. *British Journal for Philosophy of Science*, 67, 663-705.
- Hestevold, H. y Carter, W. (2002). On Presentism, Endurance and Change. *Canadian Journal of Philosophy*, 32(4), 491-510.
- Hoerl, C. (2013). Do We (Seem to) Perceive Passage? *Philosophical Explorations*, 17(2), 188-202.
- Horwich, P. (1987). *Asymmetries in Time*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hutchison, K. (1993). Is Classical Mechanics Really Time-Reversible and Deterministic? *The British Journal for the Philosophy of Science*, 44, 307-323.
- ____ (1995). Temporal Asymmetry in Classical Mechanics. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 46, 219-234.
- Lakhtakia, A. (1993). *Essays on the Formal Aspects of Electromagnetic Theory*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Le Poidevin, R. (2007). *The Images of Time: an Essay on Temporal Representation*. Oxford: Oxford University Press.
- Markosian, N. (2016) Time. En E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2016/entries/time/>
- Maudlin, T. (2002). Remarks on the Passing of Time. *Proceedings of the Aristotelian Society*, 102, 237-252.
- ____ (2007). *Metaphysics within Physics*. New York: Oxford University Press.
- McTaggart, J.M.E. (1908). The Unreality of Time. *Mind*, 17, 457-73.
- Mortensen, C. (2016). Change and Inconsistency. En E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, URL = <http://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/change/>
- North, J. (2009). Two Views on Time Reversal. *Philosophy of Science*, 75, 201-223.
- Paul, L.A. (2010). Temporal Experience. *Journal of Philosophy*, 107(7), 333-359.
- Penrose, R. (1989). *The Emperor's New Mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Peterson, D. (2015). Prospect for a New Account of Time Reversal. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 49, 42-56.
- Price, H. (1996). *Time's Arrow and Archimedes' point: New Directions for the Physics of Time*. New York: Oxford University Press.
- ____ (2011). The Flow of Time. En C. Callender (ed.), *The Oxford Handbook of Time*. (pp. 276-311). Oxford University Press.

- Prosser, S. (2013). Passage and Perception. *Nous*, 47(1), 69-84.
- Rietdijk, C.W. (1966). A Rigorous Proof of Determinism Derived from the Special Theory of Relativity. *Philosophy of Science*, 33, 341-344.
- Romero, G. (2015). Present Time. *Foundations of Science*, 20(2), 135-145.
- Ross, D., Ladyman, J. y Kinkaid, H. (2017). *Scientific Metaphysics*. Oxford: Oxford University Press.
- Rovelli, C. (2011). Forget Time. *Foundations of Physics*, 41(9), 1475-1490.
- Schuster, M.M. (1986). Is the Flow of Time Subjective? *The Review of Metaphysics*, 39(4), 695-714.
- Shoemaker, S. (1969). Time without Change. *Journal of Philosophy*, 66(12), 363-381.
- Sklar, L. (1974). *Space, Time and Spacetime*. Berkeley: University of California Press.
- Weintraub, R. (2007). Separability and Concept-Empiricism: Hume vs Locke. *British Journal for the History of Philosophy*, 15(4), 729-743.
- Weyl, H. (1949). Relativity Theory as a Stimulus in Mathematical Research. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 93, 535-541.
- Wigner, E. P. (1932). *Group Theory and its Application to the Quantum Mechanics of Atomic Spectra*. New York: Academic Press (1959).
- Yehezkel, G. (2013). The Illusion of the Experience of the Passage of Time. *Disputatio*, 5(35), 67-80.