

Comentarios sobre retrocausación de Phil Dowe

Víctor Rodríguez

Universidad Nacional de Córdoba. Argentina

Resumen

En «Retrocausación» Phil Dowe nos presenta un estudio detallado de cómo las teorías de la dirección causal podrían cuadrar con varias posibilidades de retrocausación aportadas por teorías físicas. En este artículo ofrezco comentarios diversos sobre las consideraciones de Dowe a la luz de una estrategia de abordaje conceptual más sensible al estado de la física. Dada la fragilidad empírica de los modelos y el creciente tratamiento de todo un espectro de posibles modelos matemáticos del espacio-tiempo, estamos lejos de tener un buen paisaje para una teoría robusta de la dirección causal asociada con los comportamientos hipotéticos de partes de nuestro universo.

Palabras clave: causalidad, P. Dowe, dirección temporal, máquinas del tiempo, leyes de la física, teoría de la relatividad.

Abstract

In «Retrocausation», Phil Dowe presents us with a detailed study on how theories of causal direction may dovetail with several possibilities of retrocausation provided by physical theories. In this article, I offer a range of comments on Dowe's considerations in light of a strategy of conceptual approach that is more sensitive to the state of physics. Given the empirical fragility of the models and the growing treatment of an entire spectrum of possible mathematical models of space-time, we are far from having a smooth landscape for a robust theory of causal direction associated with the hypothetical behaviours of parts of our universe.

Key words: causality, P. Dowe, temporal direction, time machines, laws of physics, relativity theory.

Aún cuando nuestro tópico es la retrocausación, deseo comenzar este comentario al artículo de Phil Dowe con una breve reflexión acerca de su enfoque general sobre la causación. Considero que su investigación sobre la naturaleza de la causación física constituye un paso muy importante para una comprensión adecuada de esta vieja cuestión. En especial, veo muy atractiva su teoría de las cantidades conservadas. Hace aproximadamente diez años, expuse algunas reflexiones sobre ella, precisamente en un simposio en honor de Wesley y Merrilee Salmon, en la Universidad Nacional de Catamarca, Argentina

(Rodríguez, 1995). Me impresiona como una línea de investigación que merece estudios adicionales, ya que resulta muy sugerente para el complejo ámbito de la causación física. Particularmente, compartiendo la perspectiva general sobre la importancia de la noción de cantidad física dentro del análisis de la causación, a mi modo de ver, no poseemos todavía una manera clara de diferenciar los dominios de este concepto —cantidad física— de las nociones de constante física e invariante físico. Existen ejemplos muy atractivos para ilustrar una suerte de superposición parcial entre ellos. Eso sucede, por ejemplo, con el concepto de dimensión tal como es usado en teorías del espacio-tiempo. Pero ésta es sólo una observación tendiente a sugerir ulteriores indagaciones dentro del mismo programa de investigación de Dowe.

Consideremos ahora el artículo que nos ocupa en esta ocasión. Veo muy atractiva su propuesta taxonómica y el análisis comparativo de las facetas de la retrocausación. El artículo me ha impresionado como relativamente escueto, dejándome un margen de incertidumbre respecto de mi cabal comprensión de la verdadera dimensión de algunos de sus argumentos. Para compensar parcialmente estas eventuales deficiencias de comprensión, he recurrido a otros escritos relacionados del autor, y naturalmente he sido beneficiado con la interacción mantenida con él en el simposio «Causality and Explanation: Homage to Wesley Salmon», realizado en Barcelona en 2003. A pesar de estas compensaciones, no estoy seguro de haber logrado un buen acercamiento a todos los aspectos del trabajo, pero, en cualquier caso, fue para mí altamente beneficioso haberme aproximado a algunas sutilezas de los diferentes enfoques sobre la causación, tal como aparecen expuestos por Dowe. Si he logrado reconstruir correctamente los argumentos, ellos me impresionan como muy convincentes en líneas generales.

Un primer punto importante que brinda un contexto para sus argumentos es la tesis de la independencia de las teorías de la conexión causal con respecto a las teorías de la dirección causal. Dowe menciona brevemente cinco teorías de la conexión causal y comenta tres teorías de la dirección causal, sugiriendo, a través de algunos ejemplos, toda una gama de posibilidades combinatorias entre los dos grupos de teorías en consideración. Es difícil decidir acerca de la eventual combinación ideal. Como veremos en un momento, el alto nivel especulativo de las teorías de la causación obliga a un arduo trabajo exegético para estimar sus alcances epistemológicos. Los enfoques presentados exhiben las dificultades de analizar la intrincada red de puntos de vista acerca del tema.

Dowe se concentra en las teorías de la dirección causal y se pregunta acerca de cuáles son compatibles con la retrocausación. No analiza en este artículo cuestiones acerca de la naturaleza del tiempo ni la teoría causal del tiempo. Sin embargo, él usa como andamiaje básico para sus ejemplos la clásica dupla de estructuras temporales, esto es, tiempo lineal y curvas tipo-temporal cerradas. En principio, no estoy en condiciones de comparar fructíferamente estas diferentes teorías y extraer conclusiones interesantes relacionadas con los distintos contextos en los cuales ellas pueden aplicarse. Hasta donde me es posi-

ble apreciar el panorama, mi percepción general de su propuesta muestra varios puntos de acuerdo, algunas dudas acerca de detalles en torno a ciertos argumentos y algunas pequeñas discrepancias en materia de interpretación. Dadas las dimensiones de un comentario de estas características, una dificultad importante es la elección de un tópico para comentar con cierto detenimiento. El trabajo abre las puertas para aproximarse a muy variados temas; desde el teorema de recurrencia de Poincaré hasta los argumentos de Dummett o Mellor. Teniendo que decidir al respecto, he optado por comentar las estructuras temporales mencionadas arriba, especialmente porque ellas desempeñan, en mi opinión, un rol importante en sus argumentos o en el intento de ilustrarlos con ejemplos provenientes de la física.

Comencemos con la teoría temporal de la dirección causal. En primer lugar, parece difícil encontrar alguna discrepancia importante con su observación de que, en el marco del tiempo lineal, la teoría temporal de la dirección causal es incompatible con la retrocausación. Sin embargo, aún en este caso, suena atractivo explorar las consecuencias de usar y comparar estructuras matemáticas continuas y discretas, con respecto a la «linealidad». El enfoque corrientemente aceptado es el de una estructura temporal continua, pero, como es bien conocido, existe un menú de modelos matemáticos exóticos con subproductos físicos potenciales que muestran estructuras discretas de diferentes clases. No debemos olvidar que, en el ambiente de los físicos, existe una enorme muestra de productos teóricos que tratan de mejorar las relaciones entre enfoques discretos y continuos asociados con teorías físicas. Las interacciones entre la mecánica cuántica y las teorías clásicas de campo son un muy buen ejemplo de ello, y éstas han contribuido al desarrollo de monstruos formales de considerable envergadura. Dejando de lado estas consideraciones, la selección de Dowe de estos dos marcos temporales principales continua siendo el modo ortodoxo de presentar la escena: flechas de tiempo lineal y curvas de tipo-temporal cerradas.

Veamos el último caso con algún detalle, esto es, las curvas de tipo-temporal cerradas. Usualmente, éste es un modo elegante de hablar acerca de máquinas del tiempo. Como es bien conocido, muchos físicos prefieren la primera manera de etiquetar el tópico, quizás por temor a ser juzgados como meros escritores de ciencia-ficción o científicos de nivel cuestionable. Hay pintorescos casos de sinceridad y expresividad al respecto. De cualquier modo, la literatura sobre física, aún en dominios ortodoxos, muestra una amplia variedad de ejercicios teóricos en esta dirección. Los ejemplos van desde modelos cosmológicos aplicados al universo como un todo, hasta procesos y entidades de fuerte carácter local, como agujeros negros, cuerdas cósmicas y otros objetos hipotéticos extraños.

Phil Dowe usa en varios lugares, aún en otro trabajo reciente sobre los rulos causales y la independencia de los hechos causales, el ejemplo de los agujeros de gusano para dar un contexto a sus argumentos acerca de las implicaciones para la causación de ambientes asociados a curvas de tipo-temporal cerradas. Me parece que vale la pena analizar este concepto con algún detalle, debido a que puede arrojar alguna luz sobre los problemas conceptuales vinculados con áreas

particulares de la física matemática y con las nociones causales involucradas en ellas. Un primer punto para considerar es el de las propiedades topológicas globales y locales. Una línea de argumento tradicional es que no es posible tener retrocausación local, aún en estos casos exóticos. Tengo algunas vacilaciones sobre este punto. Si concedemos alguna credibilidad a la retrocausación en ciertos procesos en nuestro universo, mis dudas están relacionadas con las dificultades de obtener una definición topológica robusta de tiempo en estos esquemas teóricos. Por ejemplo, la matemática está sugiriendo actualmente a los físicos el uso tanto de topologías reales como complejas, y ello puede sacudir algunos de nuestros más profundos prejuicios acerca de la sintaxis de las estructuras básicas de los contextos físicos. Es posible que la física, en el futuro, incremente el uso de estructuras basadas en los complejos, por ejemplo, de variedades complejas o estructuras similares. La motivación puede radicar en la necesidad de dar una descripción más satisfactoria de nociones como el espín y su relación con las propiedades del espacio-tiempo, por ejemplo, sólo por mencionar un caso interesante. Hay actualmente un considerable trabajo teórico en estas direcciones y la tendencia está claramente aumentando, especialmente en ciertas áreas irreverentes de la física teórica asociadas con programas unificacionistas, donde la estrategia de definir nociones en función de una actividad de resolución de problemas alcanza un grado notable de desarrollo.

Dado nuestro interés en comprender el alcance del concepto de retrocausación, se necesita posiblemente mayor precisión terminológica para poder introducir esta noción en los marcos de referencia de topologías alternativas especiales. Esta línea de análisis puede extenderse considerablemente en virtud de la variedad de estructuras topológicas posibles; por ejemplo: el uso de topologías no-Hausdorff. Resultaría interesante conocer cómo pueden compatibilizarse estas estructuras con los rulos causales y con las curvas de tipo-temporal cerradas.

De cualquier modo, adopto aquí una estrategia menos ambiciosa y sólo considero algunos problemas asociados con la noción de curva temporal cerrada en contextos relativamente clásicos; en particular, cercanos a la teoría de la relatividad general y algunas extensiones a la teoría cuántica de campos. Intento mostrar que no es posible a la fecha caracterizar de un modo satisfactorio cuáles son los rasgos causales que exhiben algunas entidades teóricas en estos contextos, como los agujeros de gusano.

Regresemos al artículo: Dowe dice «tomemos una curva de tipo-temporal cerrada más pequeña, digamos un pequeño agujero de gusano donde uno puede entrar por un extremo y emerger por el otro extremo. Como en el caso del tiempo circular, uno siempre viaja localmente hacia el futuro, sin embargo, uno llega en el pasado. Por ejemplo, bebo veneno, entro en el agujero de gusano, tambaleo algo antes y muero. Entonces, la causa es a la vez anterior y posterior al efecto. Así de nuevo, mientras que la dirección causal siempre se alinea con la dirección del tiempo, las causas pueden en algún sentido ocurrir antes que sus efectos, y los rulos causales y el viaje en el tiempo son también posibles» (*traducción mía*).

Me parece relevante analizar el contexto técnico subyacente a esta observación, porque, según mi modo de verlo, es un punto delicado en el intento de obtener un equilibrio entre la pluralidad de mundos posibles generados por técnicas matemáticas, y las cautivantes aventuras de crear paisajes muy cercanos a la ciencia-ficción, pero sin algún soporte empírico razonablemente alcanzable. La cuestión que considero es dónde podríamos encontrar en nuestro universo un objeto o proceso con esta propiedad, esto es, con retrocausación. Si mi lectura del artículo es correcta, no tenemos un punto de vista dominante que cubra la mayoría de los aspectos relevantes de este tópico, de modo que son posibles varias alternativas considerablemente diferentes de aproximarse a él. Por ésta y otras razones, prefiero adoptar un enfoque más próximo a la física teórica y a la filosofía de la física para analizar estos conceptos.

Lateralmente, algunos aspectos de la teoría temporal y otros de la teoría de la agencia quedarán asociados, debido a las dificultades para separar curvas de tipo-temporal cerradas de la construcción temporal de máquinas del tiempo. Asocio aspectos de la teoría de la agencia con las facultades de algún hipotético *Homo faber* extraterrestre para construir máquinas del tiempo —en términos de Dowe, para manipularla.

Permítanme dar una breve introducción a este contexto. Hay varias maneras interesantes de presentarla. Prefiero aquí enfatizar los contrastes y las similitudes entre agujeros negros y agujeros de gusano con respecto a la posibilidad de retrocausación y máquinas del tiempo. Existe una breve pero interesante evolución de ideas alrededor de estos dos conceptos en las últimas décadas (Hawking, Thorne, Novikov, Ferris y Lightman, 2002; Gott, 2003; Nahin, 1993). El tema es realmente muy difícil de asimilar, pero los físicos teóricos han hecho importantes contribuciones en este período. Esto contrasta en varios aspectos con el estilo expositivo y las preocupaciones conceptuales de las líneas tradicionales de investigación científica y filosófica sobre el tiempo como concepto físico. A modo de ejemplo, pueden consultarse las obras de Zeh (1992); Price (1996); Sachs (1987), y Halliwell, Pérez-Mercader y Zurek (1994) citadas en la bibliografía. Uno de los numerosos puntos importantes es la dificultad de definir en estas estructuras conceptos como «antes» o «después», especialmente por los problemas para conseguir definiciones precisas de sistemas de referencia allí. Aún un astrónomo como Carl Sagan cometió algunos errores teóricos en el borrador de su novela *Contacto* con respecto a viajes en el tiempo en agujeros negros. De acuerdo con nuestro conocimiento actual, los agujeros negros no son buenos candidatos para producir máquinas del tiempo. Kip Thorne puso esto en claro hace ya algún tiempo, y él es uno de los principales responsables de la revitalización de los viajes en el tiempo a través de agujeros de gusanos (Thorne, 1994). Lateralmente, la anécdota de Sagan es contada por este investigador. Pero su caso, como el de otros colegas, representa un estilo de investigación muy sensible a la expresividad matemática de las ecuaciones de campo de Einstein. Tiendo a interpretar a toda esta nueva moda de estructuras físicas exóticas como una consecuencia importante de las técnicas topológicas globales en física matemática, particularmente, los teore-

mas sobre singularidades en la década de 1960, aunque las primeras propuestas vinieron de trabajos escritos inmediatamente luego de la emergencia de la relatividad general. Ellos reflejan el arte de encontrar soluciones para ciertas ecuaciones diferenciales especiales. Éste no es el lugar para un enfoque histórico de estas cuestiones, pero permítanme recordar que, desde 1916, existen soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein, halladas por Schwarzschild, por Flamm, por Reissner y Nordstrom, que contribuyeron a otorgar identidad a estas nuevas entidades teóricas. Después de la solución hallada por Oppenheimer y Zinder en 1939, la física matemática se encontró con la astrofísica de una manera que puso a los agujeros negros cerca de los tests observacionales. Es un enfoque usual hoy verlos como problemas no resueltos en astrofísica. Pero el estatus ontológico de los agujeros de gusano es muy diferente, al menos por ahora. No tenemos todavía buenos candidatos «realistas» en el horizonte, ni tenemos procesos naturales como la evolución de las estrellas, que sugieran su existencia. Esto no es un enfoque escéptico, es sólo una observación relativa a un estilo de trabajo en física teórica contemporánea. Digo «un estilo» porque hay varios. Pero la fábrica de agujeros de gusano exhibe principalmente este estilo de investigación próximo a la búsqueda de soluciones matemáticas a algunos problemas, extracción de consecuencias a partir de ellos —cálculos, inferencias—, presentación de algunos modelos coherentes o compatibles con estos cálculos, e intento de obtener alguna buena predicción a partir de ellos. Hasta donde puedo ver el tópico, ésta es una tendencia general en todas las áreas de la física en las cuales las singularidades desempeñan un papel distinguido, desde la industria de modelos cosmológicos de Gran Explosión a las diferentes clases de agujeros en estructuras de espacio-tiempo. Deseo poner énfasis en la forma plural de este término. *agujeros*, debido a que en los últimos años ha habido una producción voluminosa de resultados alrededor de curvas de tipo-temporal cerradas y sus conexiones con singularidades del espacio-tiempo: variaciones del espacio-tiempo relacionado con dos cuerdas de Gott, el espacio de Misner, el espacio de Grant y muchos otros.

En mi opinión, el mejor modo de expresar nuestra ignorancia sobre la materia es a través de la conjetura de Hawking: la conjetura de la protección de la cronología. Dice, esencialmente, que las leyes de la física prohíben la existencia de curvas de tipo-temporal cerradas. Nadie la ha demostrado todavía con argumentos convincentes, pero la literatura reciente exhibe considerables esfuerzos en esta dirección. Los argumentos involucran restricciones debidas a la interacción de teorías clásicas de la gravitación y de la mecánica cuántica, y en los últimos años esto ha estimulado variaciones en los modelos de gravedad cuántica. La mayoría de los teóricos comparten el enfoque siguiente: si hay cosas como agujeros de gusano, cuerdas cósmicas y cosas por el estilo, éstas deben estar conectadas con ambientes especiales en los cuales aparecen ostensiblemente propiedades de la gravedad cuántica, pero no poseemos esa robusta teoría todavía. Esta situación contribuye a generar enfoques con un prejuicio particular acerca de nociones como la dirección causal. Ellos reflejan una suerte de juego de autosostenimiento entre nociones interconectadas.

Tomemos un ejemplo para ilustrar cómo se da la tensión entre la especulación y las restricciones ambientales. En el caso de los agujeros negros, la relatividad general dice que una estrella puede implotar hasta una densidad infinita, alcanzando de este modo una singularidad espacio-temporal. Pero, hablando estrictamente, el espacio tiempo cesa de existir, al menos en la forma en que lo conocemos. Aquí hay algo adicional con respecto a los procesos causales. Las fuerzas de marea de la gravedad, una manifestación de la curvatura del espacio-tiempo, también van hacia el infinito en la singularidad; hay tirones en algunas direcciones y compresiones en otras, y esto produce un conjunto de comportamientos diferentes de las singularidades relacionadas con la combinación de los dos procesos. Por esta razón, no es posible cruzar la singularidad y emerger por el otro lado, por decir, alcanzar otro espacio-tiempo a través de una suerte de hiperespacio. De acuerdo con la relatividad general, no hay otro lado, debido a que el espacio y el tiempo cesan de existir en la singularidad. Aunque el lenguaje usado aquí es relativamente metafórico, este paisaje parece desprenderse sin demasiadas complicaciones de los modelos escritos en el lenguaje técnico de la teoría en cuestión.

La pregunta natural aquí es si las singularidades son estables bajo pequeñas perturbaciones, dado que las perturbaciones no producen variaciones significativas para el horizonte de un agujero negro; se obtuvo que es estable para pequeñas perturbaciones. Hay, sin embargo, cálculos que muestran que la situación no es la misma en el centro de un agujero negro. El tratamiento de estas cuestiones exhibe notables dificultades conceptuales y terminológicas, esencialmente asociadas al alcance de las interpretaciones topológicas y sus límites en torno de las singularidades. El concepto de curvatura desempeña un rol muy especial aquí. A esto se suma el tratamiento de las fluctuaciones del vacío, desde el punto de vista electromagnético, y a pequeñas manifestaciones de radiación. Este proceso complejo ha sugerido una evolución tendente a la aniquilación del agujero negro, prohibiendo de ese modo viajes estables a través de él. Aún para los más destacados especialistas en el tema, es difícil extraer robustas conexiones empíricas de estos ejercicios teóricos, en particular, debido a nuestro fragmentario conocimiento de una adecuada teoría cuántica de la gravedad. Por ello, es realmente difícil establecer una tajante distinción entre física teórica, física especulativa y ejercicios de matemática aplicada a teorías de espacio-tiempo. El menú de procesos evolutivos en torno de estas singularidades es realmente variado y la literatura muestra modelos diferentes de destrucción de agujeros, asociados con diferentes soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein. Una importante conexión entre esta temática y el artículo que nos ocupa de Phil Dowe es la cuestión sobre cuáles regiones del espacio-tiempo pueden intercambiar señales y cuáles no. La lectura estándar de estos modelos es a través de teorías causales del espacio-tiempo.

Un ámbito más exótico aún producido por la física teórica exhibe las anomalías de una ruptura del marco espacio-temporal clásico, debido al comportamiento cuántico del entorno físico cerca de la singularidad. Cuesta decantar modelos realistas en este contexto hiperteórico. Se insinúan espumas proba-

bilísticas con una irreductible naturaleza aleatoria, y esto altera naturalmente la topología y sus propiedades clásicas: forma, curvatura. Es claro aquí que, aunque las reglas de juego teórico son bastante estrictas, estamos en un paraíso para la imaginación. Pero esta libertad tiene su contraparte epistemológica, dado que es notablemente difícil mantener cercanos nuestros instintos realistas o anhelos de adecuación empírica en estos dominios exóticos. Ello no obstante, la investigación continúa produciendo estimaciones probabilistas para distintas curvaturas y topologías. Esto ya ha cruzado la frontera que va desde los agujeros negros hasta los agujeros de gusano. Es, en mi opinión, extraordinariamente difícil en estos ámbitos tener una concepción clara de la causación, y en este sentido no es persuasiva, al menos para mí, una caracterización a priori o demasiado general de la misma, que impida o diluya una conexión ponderable con las disciplinas científicas en las que se asientan los ejemplos que se usan para robustecerla.

Volviendo a la relatividad general clásica y a las máquinas del tiempo, es posible concebir alguna suerte de entidades de este tipo pero a un precio aparentemente muy alto: se necesita materia exótica. Veamos el punto un poco más detalladamente. Los modelos muestran diferencias importantes entre diferentes tipos de curvas de tipo-temporal cerradas. Una clasificación que se ha propuesto es de curvas eternas y curvas efímeras. Entre las primeras, hay modelos que involucran cilindros infinitamente largos, o modelos como el de Gödel. En el segundo tipo están, en particular, los agujeros de gusanos. Hasta donde puedo comprender esta dinámica técnica y conceptual, hay problemas para obtener retrocausación en ambas opciones si tratamos de mantener una posición no extraordinariamente alejada de una ciencia empírica. En el caso de los agujeros de gusano, se necesitan propiedades muy extrañas para la materia-energía. No parece haber motivos razonables para suponer la existencia de estas propiedades en el universo observable basadas en la física conocida. A esto se suma que la exuberante imaginación de los teóricos ha producido numerosos mecanismos que dan cuenta de la destrucción de agujeros de gusano, lo que hace cada vez menos plausible la estabilidad de un objeto de estas características y arroja más escepticismo en torno a su misma existencia. Algunos filósofos de la ciencia han visto aquí dos escuelas de pensamiento; en mi opinión, sólo se trata de diferentes estilos de investigación fuertemente centrados en las estrategias de planteamiento y resolución de problemas.

Mi lección de estas tendencias en la especulación teórica y en los cálculos asociados es que, dada la fragilidad empírica de los modelos y el creciente tratamiento de todo un espectro de posibles modelos matemáticos del espacio-tiempo, estamos lejos de tener un buen paisaje para una robusta teoría de la dirección causal asociada con estos comportamientos hipotéticos de partes de nuestro universo. Es mi opinión que deberíamos contemplar en nuestro análisis de la dirección causal la jerarquía de mundos posibles dependientes de las estructuras matemáticas en uso y, especialmente, ser muy sensibles a los niveles cercanos a nuestro mundo empírico, a los fines de tener una mejor comprensión de los aspectos epistémicos y ontológicos de la misma. Parece

conveniente recordar que, durante el siglo XX, se engendraron numerosas entidades hipotéticas como producto de modelos de papel y lápiz y que una pequeña fracción de ellas ha contribuido a consolidar algún enfoque ontológico robusto. Con respecto a las curvas temporales cerradas y la retrocausación, no parece haber muchas opciones: o uno se permite la libertad de generar concepciones fuertemente divorciadas de las disciplinas científicas vigentes, en cuyo caso uno se encuentra obligado a pulir los criterios de validación para que los argumentos suenen convincentes, ya que es dudoso el valor de los ejemplos tomados de dichas disciplinas, o trata de adecuar las alas de la imaginación a las restricciones impuestas por las familias de modelos que no se han divorciado demasiado de la ciencia empírica. Hasta donde he podido estudiar el tema, no alcanzo a ver un vínculo robusto entre estas concepciones filosóficas generales acerca de la retrocausación y las prácticas científicas actuales, extendidas hasta modelos de alto nivel teórico. Por ello, sin desmerecer el enfoque adoptado en el artículo comentado, prefiero, con respecto a esta noción y sus matices, dar prioridad a una estrategia de abordaje conceptual más sensible al estado de la física que la presentada en la articulación de Dowe.

Referencias bibliográficas

- GOTT, J. R. (2003). *Los viajes en el tiempo y el universo de Einstein*. Barcelona: Tusquets Editores.
- HALLIWELL, J.; PÉREZ-MERCADER, J.; ZUREK, W. (eds.) (1994). *Physical Origins of Time Asymmetry*. Cambridge University Press.
- HAWKING, S.; THORNE, K.; NOVIKOV, I.; FERRIS, T.; LIGHTMAN, A. (2002). *The Future of Spacetime*. California Institute of Technology.
- NAHIN, P. (1993). *Time Machines*. Nueva York: American Institute of Physics Press.
- PRICE, H. (1996). *Time's Arrow and Archimedes' Point*. Oxford UP.
- RODRÍGUEZ, V. (1995). «Comentarios sobre la teoría de las cantidades conservadas». *Revista Latinoamericana de Filosofía*, vol. XXI, n° 1, mayo.
- SACHS, R. (1987). *The Physics of Time Reversal*. The University of Chicago Press.
- THORNE, K. (1994). *Black Holes & Time Warps*. Nueva York: W. W. Norton & Co.
- ZEH, H. (1992). *The Physical Basis of the Direction of Time*. 2a ed. Berlín: Springer-Verlag.