





Revista de  
Estudios  
Kantianos

# Revista de Estudios Kantianos

Publicación internacional de la Sociedad de Estudios Kantianos en Lengua Española  
Internationale Zeitschrift der Gesellschaft für Kant-Studien in Spanischer Sprache  
International Journal of the Society of Kantian Studies in the Spanish Language

## **Dirección**

Fernando Moledo, FernUniversität in Hagen  
[fernando.moledo@fernuni-hagen.de](mailto:fernando.moledo@fernuni-hagen.de)

Hernán Pringe, CONICET-Universidad de Buenos Aires/  
Universidad Diego Portales, Santiago de Chile  
[hpringe@gmail.com](mailto:hpringe@gmail.com)

## **Secretario de edición**

Óscar Cubo Ugarte, Universitat de València  
[oscar.cubo@uv.es](mailto:oscar.cubo@uv.es)

## **Secretaria de calidad**

Alba Jiménez Rodríguez, Universidad Complutense de Madrid  
[albjim04@ucm.es](mailto:albjim04@ucm.es)

## **Editores científicos**

Jacinto Rivera de Rosales, UNED, Madrid  
Claudia Jáuregui, Universidad de Buenos Aires  
Vicente Durán, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá  
Julio del Valle, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima  
Jesús Conill, Universitat de València  
Gustavo Leyva, Universidad Autónoma de México, México D. F.  
María Xesús Vázquez Lobeiras, Universidade de Santiago de Compostela  
Wilson Herrera, Universidad del Rosario, Bogotá  
Pablo Oyarzun, Universidad de Chile, Santiago de Chile  
Paula Órdenes Azúa, Universität Heidelberg

### **Comité científico**

Juan Arana, Universidad de Sevilla  
Reinhardt Brandt, Philipps-Universität Marburg  
Mario Caimi, Universidad de Buenos Aires  
Monique Castillo, Université de Paris-Est  
Adela Cortina, Universitat de València  
Bernd Dörflinger, Universität Trier  
Norbert Fischer, Universität Eichstätt-Ingolstadt  
Miguel Giusti, Pontificia Universidad Católica del Perú  
Dulce María Granja, Universidad Nacional Autónoma de México  
Christian Hamm, Universidad Federal de Santa María, Brasil  
Dietmar Heidemann, Université du Luxembourg  
Otfried Höffe, Universität Tübingen  
Claudio La Rocca, Università degli Studi di Genova  
Juan Manuel Navarro Cordón, Universidad Complutense, Madrid  
Carlos Pereda, Universidad Nacional Autónoma de México  
Gustavo Pereira, Universidad de la República, Uruguay  
Ubirajara Rancan de Azevedo, Universidade Estadual Paulista, Brasil  
Margit Ruffing, Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
Gustavo Sarmiento, Universidad Simón Bolívar, Venezuela  
Sergio Sevilla, Universitat de València  
Roberto Torretti, Universidad Diego Portales, Santiago de Chile  
Violetta Waibel, Universität Wien  
Howard Williams, University of Aberystwyth  
Allen W. Wood, Indiana University

### **Diseño, revisión de estilo, corrector y maqueta**

Josefa Ros Velasco, Harvard University, Cambridge (MA)

### **Entidades colaboradoras**

Sociedad de Estudios Kantianos en Lengua Española (SEKLE)  
Departament de Filosofia de la Universitat de València  
Instituto de Humanidades, Universidad Diego Portales





# Índice

## Artículos

- 193 Phänomenologie oder Kritizismus? Zur Auseinandersetzung zwischen Eugen Fink und Rudolf Zocher  
*Christian Krijnen*  
DOI 10.7203/REK.4.2.13750
- 221 Una interpretación de la *Stufenleiter* de A320/B376. Contribución a la determinación precisa del carácter de la distinción entre intuiciones y conceptos  
*Luis Placencia*  
DOI 10.7203/REK.4.2.15537

## La actualidad de la *Crítica de la razón pura*: Parte Teórica

- 245 Presentación de los editores al número monográfico. La actualidad de la *Crítica de la razón pura*: Parte Teórica  
*David Hereza; Óscar Cubo*  
DOI 10.7203/REK.4.2.15571
- 249 “Los primeros pensamientos de Copérnico” (*KrV*, Bxvi)  
*Gonzalo Serrano Escallón*  
DOI 10.7203/REK.4.2.13930
- 270 El espacio en cuanto forma de los fenómenos y la tesis de la receptividad: mutua implicación  
*Diana Gloria Contreras Gallegos*  
DOI 10.7203/REK.4.2.14005
- 293 La idealidad del tiempo, Gödel y la relatividad  
*Gilberto Castrejón*  
DOI 10.7203/REK.4.2.13825

- 319 Synthetische und analytische Einheit der Apperzeption. Über ein nach wie vor aktuelles und missverständliches Problem der „Kritik der reinen Vernunft“  
*Carsten Olk*  
DOI 10.7203/REK.4.2.13784
- 338 Una defensa de la actualidad de la *Crítica de la razón pura*  
*Alejandro Lanchas Sánchez*  
DOI 10.7203/REK.4.2.13840
- 352 Substancia, cambio y materia en las Analogías de la experiencia de la *Crítica de la razón pura* de Kant  
*Jacinto Rivera de Rosales*  
DOI 10.7203/REK.4.2.15752
- 382 La refutación kantiana del idealismo y el realismo ingenuo reconsiderado  
*Manuel Amado*  
DOI 10.7203/REK.4.2.13963
- 397 La concepción kantiana de la verdad: Entre la correspondencia y la argumentación  
*Ana María Andaluz Romanillos*  
DOI 10.7203/REK.4.2.14094
- 423 Die konzeptualistische und die nicht-konzeptualistische Interpretation der Kooperationsthese  
*Sophia Maddalena Fazio*  
DOI 10.7203/REK.4.2.13996
- 434 Geist im Sinnlichen. Eine Deutung der transzendentalen Ideen im Ausgang von Kants Anthropologie  
*Margit Ruffing*  
DOI 10.7203/REK.4.2.14336
- 452 La deducción metafísica de las ideas a partir de las formas del silogismo  
*Mario Pedro Miguel Caimi*  
DOI 10.7203/REK.4.2.14015
- 476 The epistemological interpretation of transcendental idealism and its unavoidable slide into compatibilism  
*Daniel Dal Monte*  
DOI 10.7203/REK.4.2.13939
- 508 Estructura argumentativa, unidad temática y coherencia doctrinal en los Progresos de la metafísica de Immanuel Kant  
*Marcos Thisted*  
DOI 10.7203/REK.4.2.14102
- 525 Sentido y límites de la filosofía trascendental en el proyecto kantiano  
*Salvi Turró*  
DOI 10.7203/REK.4.2.13919

### **Recensiones**

- 546 Gualtiero Lorini y Robert B. Loudon (Eds.): *Knowledge, Morals and Practice in Kant's Anthropology*. Nueva York, Palgrave Macmillan, 2018, 171 pp. ISBN: 978-3-319-98726-2  
*Natalia Andrea Lerussi*  
DOI 10.7203/REK.4.2.15773
- 552 Paula Órdenes y Anna Pickhan (Eds.): *Teleologische Reflexion in Kants Philosophie*. Weisbaden, Springer, 2019, 310 pp. ISBN: 978-3-658-23693-9  
*Rafael Reyna Fortes*  
DOI 10.7203/REK.4.2.15851

### **Traducción**

- 556 *Los Aforismos sobre religión y deísmo* de J. G. Fichte. Presentación, debates abiertos y traducción  
*María Jimena Solé*  
DOI 10.7203/REK.4.2.15772

### **Eventos y normas para autores**

- 583 Normas para autores  
DOI 10.7203/REK.4.2.15906



**La actualidad de la**  
***Crítica de la razón pura:***  
**Parte Teórica**



# La idealidad del tiempo, Gödel y la relatividad

GILBERTO CASTREJÓN<sup>1</sup>

## Resumen

En la *KrV* Kant plantea la idealidad del tiempo en términos de que no es algo que subsista por sí mismo. En este sentido, Gödel vio una reivindicación de Kant al encontrar algunas soluciones de las ecuaciones de campo de la relatividad. Pretendo llevar a cabo una actualización, a partir de la *KrV*, de la concepción kantiana del tiempo en Gödel, frente a críticas que consideran que este solo atendió a las ‘A-series del tiempo’, donde los eventos se ordenan en pasado, presente y futuro. La conclusión es que Kant sigue vigente, bajo ciertas condiciones, en la relatividad.

**Palabras clave:** tiempo, Kant, idealidad, Gödel, relatividad

## The ideality of time, Gödel and relativity

### Abstract

Kant poses the ideality of time in the *KrV* to say that time is not something that subsists for itself. In this sense, Gödel approached a Kantian claim when he calculated some solutions of the relativity’s field equations. I intend to update, from the *KrV*, the Kantian conception of time in Gödel, by paying attention to the critics that affirm that he just attended to the ‘A-series of time’, according to which the events are ordered in the sequence past, present, and future. My conclusion is that Kant remains in force, in some sense, through relativity.

**Keywords:** time, Kant, ideality, Gödel, relativity

## 1. Introducción

En el ámbito de la filosofía de la ciencia se considera a la Teoría General de la Relatividad (TGR) como la mejor teoría sobre el espacio y el tiempo. En este sentido, fue Kurt Gödel quien obtuvo ciertas soluciones de las ecuaciones

<sup>1</sup> CICATA-Legaria, Instituto Politécnico Nacional (México). Contacto: [gcastrejon@ipn.mx](mailto:gcastrejon@ipn.mx).

de campo de Einstein, base matemática de la TGR, que posibilitaron especular sobre si realmente el tiempo es un ‘ente del mundo’, es decir, un ente objetivo, que existe independientemente de los objetos. Así, Gödel vinculó sus ideas con la filosofía de Kant.

En este trabajo, llevo a cabo primeramente una revisión de la concepción kantiana de la idealidad del tiempo, considerando que su fundamento estriba en que el tiempo no es algo que subsista por sí mismo, es decir, no es una substancia, ni una relación entre substancias. Una vez hecho esto, presento los principales conceptos de la TGR. De aquí, desarrollo las ideas de Gödel sobre el tiempo para, a su vez, atender a algunas críticas a este. Finalmente, ubico sus ideas frente a la filosofía de Kant, la cual, en ciertos aspectos, considero que sigue vigente.

## 2. La idealidad del tiempo en Kant

En términos generales, el carácter ontológico del tiempo se encuentra en la Exposición Metafísica (*KrV*, A31–32/B46–48), donde Kant desarrolla sus argumentos en cinco puntos, de los cuales los dos primeros se refieren a la condición *a priori* del tiempo:

El tiempo es una representación necesaria que sirve de fundamento de todas las intuiciones. Con respecto a los fenómenos en general, no se puede suprimir el tiempo mismo, aunque muy bien se puede sacar del tiempo los fenómenos. Por consiguiente, el tiempo está dado *a priori* (*KrV*, A31/B46).

El punto tres lo ubica como posibilidad de toda experiencia, es decir: su representación no podría obtenerse de ninguna experiencia:

En esta necesidad *a priori* se funda también la posibilidad de principios apodícticos acerca de las relaciones del tiempo, o axiomas del tiempo en general [...] Estos principios valen como reglas bajo las cuales, en general, son posibles las experiencias; y nos instruyen antes de esta, y no mediante esta (*KrV*, B47).

El punto cuatro sustenta la concepción del tiempo como intuición pura, pues toda representación del tiempo presupone una intuición pura *a priori*: “El

tiempo no es un concepto discursivo o, como se suele decir, [un concepto] universal; sino una forma pura de la intuición sensible [...] Pero la representación que solo puede ser dada por un único objeto es intuición” (*KrV*, A32). Finalmente, el punto cinco habla de la *infinitud* del tiempo, lo que sustenta asimismo que no puede ser concepto, pues toda “representación originaria *tiempo* debe ser dada como ilimitada” (*KrV*, A32).

Resulta pertinente señalar que la idealidad del tiempo está ya presente en la Exposición Metafísica, si atendemos a que los argumentos de Kant, contenidos en los cinco puntos señalados, pueden presentarse en la siguiente estructura argumentativa:<sup>2</sup>

i) ¿Qué puede ser el tiempo? ¿Una substancia? ¿Una relación entre substancias? ¿O una condición subjetiva de representación? Lo que tiene que ver con las dos teorías sobre la naturaleza del tiempo vigentes en la época de Kant: la de Newton y la de Leibniz; siendo la última posibilidad la del propio Kant.

ii) ¿Cómo podríamos hacernos con la representación del tiempo? Si el tiempo fuera una substancia o una relación entre substancias, entonces obtendríamos la representación del tiempo mediante la experiencia. Pero a su vez, el tiempo es *a priori*.

iii) Ahora bien, dada su condición *a priori*, y no discursiva, no es posible obtener una representación del tiempo por medio de la experiencia. De esto último se concluye, simultáneamente:

iv) La idealidad: ‘el tiempo no es una substancia ni una relación entre substancias’; y a su vez, la subjetividad: ‘el tiempo es una forma subjetiva de representación’.

<sup>2</sup> Efraín Lazos (2014) lleva a cabo una lectura de la exposición metafísica del espacio, donde plantea que, precisamente, el argumento sobre dicha exposición puede considerarse como una *reductio*, un dilema destructivo y tal que la estructura del argumento es análoga a como se presenta en los cuatro puntos (74–81). En este caso, he considerado que, efectivamente, la exposición metafísica sobre el tiempo también puede presentarse con dicha estructura, lo que permite separar la idealidad del tiempo de su subjetividad. Este último sentido es el que precisamente ha despertado diversas controversias sobre el carácter ontológico del tiempo.

Así, Kant está estructurando un conjunto de argumentos que dan cuenta de la condición ontológica del tiempo: este no es una substancia ni una relación entre substancias, sino más bien una condición subjetiva de representación, una forma pura de la sensibilidad. En este sentido, mediante la estructura argumentativa de un ‘dilema destructivo’, Kant deduce simultáneamente el carácter subjetivo del tiempo y su idealidad. Ni la idealidad depende de la subjetividad, ni esta última depende de la primera. Llega asimismo —en la sección “Conclusiones a partir de los conceptos precedentes”— a plantear la ‘idealidad trascendental del tiempo’:<sup>3</sup>

Le denegamos al tiempo toda pretensión de realidad absoluta, aquélla, a saber, por la que él, aun sin tener en cuenta la forma de nuestra intuición sensible, sería inherente a las cosas de manera absoluta, como condición o como propiedad. Tales propiedades, que corresponden a las cosas en sí, no pueden nunca sernos dadas por los sentidos. En esto consiste, pues, la *idealidad trascendental* del tiempo, según la cual este, si se hace abstracción de las condiciones subjetivas de la intuición sensible, no es nada, y no puede contarse entre los objetos en sí mismos (sin la relación de ellos con nuestra intuición) ni como subsistente ni como inherente (*KrV*, A36/B52).

De lo anterior, el fundamento de la ‘idealidad del tiempo’ se refiere a que este no es ni una substancia, ni una relación entre substancias, es decir, no es un ‘objeto’ que subsista por sí mismo. Kantianamente: solo conocemos a los objetos como fenómenos y el tiempo es una condición para ‘conocer temporalmente a dichos objetos’. Cabría aquí la pregunta: ¿el orden temporal es un orden propio del mundo? y, si fuera el caso, ¿cómo podríamos tener noción de modos temporales en los fenómenos, tales como la simultaneidad, el cambio o la sucesión? El orden temporal lo pone la sensibilidad humana. Esto es, el tiempo, como forma de la sensibilidad, hace posible la ordenación de los fenómenos. Aunque, ¿cómo es que podemos ordenar dichos

<sup>3</sup> Lisa Shabel (2010: 108) considera que el argumento de la idealidad del tiempo se desenvuelve similarmente al de la idealidad del espacio: “Esta es la tesis de Kant de la idealidad trascendental del espacio (la cual se aplica también para el tiempo), la cual él expone inmediatamente al final de las exposiciones Metafísica y Trascendental, en una sección titulada: ‘Conclusiones a partir de los conceptos’” [“This is Kant’s thesis of the transcendental ideality of space (which holds also for time), which he states immediately upon concluding the Metaphysical and Transcendental Expositions, in a section entitled ‘Conclusions from the above concepts’”].

fenómenos? En la Deducción Trascendental<sup>4</sup> Kant nos da una explicación de cómo los conceptos puros del entendimiento (categorías) pueden referirse *a priori* a objetos; es decir, está presentando un criterio de objetividad del conocimiento humano. Construimos un orden temporal de los fenómenos mediante la ‘acción’ de las categorías de relación,<sup>5</sup> el esquematismo<sup>6</sup> y las analogías de la experiencia.<sup>7</sup> Cabe señalar que las analogías de la experiencia constituyen tres principios que fundamentan la posibilidad de constituir objetos de experiencia. “Ellas nos muestran que ciertos principios son requeridos en orden para fundamentar determinaciones temporales acerca de objetos” (Guyer 1987: 207). Así las cosas, la manera en que, temporalmente, se ordenan los fenómenos, depende de la experiencia. Es decir, en la experiencia ordenamos temporalmente los fenómenos. El carácter temporal de los fenómenos es algo que se presenta en la experiencia. Ahora bien, aceptando el criterio kantiano de ‘objetividad temporal’, cabría esperar que: las relaciones pasadas, presentes o futuras (A-series del tiempo<sup>8</sup>), así como las de antes, ahora y después (B-series del tiempo<sup>9</sup>), correspondan a series temporales de la experiencia del mundo. Asimismo, la subjetividad del tiempo implica que el mundo es temporal y que, a su vez, el orden temporal del mundo es algo que puede conocerse. Cabe aclarar que se afirma el ‘orden

<sup>4</sup> “Llamo a la explicación de la manera como conceptos pueden referirse *a priori* a objetos, la *deducción trascendental* de ellos, y la distingo de la deducción *empírica*, que muestra la manera como un concepto ha sido adquirido por experiencia y por reflexión sobre esta, y que por tanto no concierne a la legitimidad, sino al hecho por el cual se ha originado la posesión” (*KrV*, A85).

<sup>5</sup> *De la relación*: De inherencia y subsistencia, de causalidad y dependencia, de comunidad. “Las categorías, por medio de la intuición, no nos suministran tampoco conocimiento alguno de las cosas, salvo solo mediante la aplicación posible de ellas a la *intuición empírica*; es decir, ellas sirven solo para la posibilidad del *conocimiento empírico*. Pero este se llama *experiencia*. Por consiguiente, las categorías no tienen ningún otro uso para el conocimiento de las cosas, salvo solo en la medida en que estas puedan ser tomadas como objetos de una posible experiencia” (*KrV*, B148).

<sup>6</sup> “Para relacionar las categorías a la experiencia, ellas deben cada una tener un ‘esquema’ o ser ‘esquemáticas’. Hablando en general, el esquema de una categoría es una interpretación de la categoría que hace su aplicación a la experiencia fácil de captar” (Dicker 2004: 66). En palabras de Kant, el esquematismo “trata de la condición sensible solo bajo la cual pueden ser empleados conceptos puros del entendimiento” (*KrV*, A136/B17).

<sup>7</sup> Las analogías de la experiencia constituyen tres principios que fundamentan la posibilidad de constituir objetos de experiencia. “Ellas nos muestran que ciertos principios son requeridos en orden para fundamentar determinaciones temporales acerca de objetos” (Guyer 1987: 207).

<sup>8</sup> Una A-serie de tiempo debe entenderse como un ‘flujo’ que va del pasado, pasando por el presente, al futuro. Implica que el tiempo ‘contiene’ una transición o sucesión, que este se mueve de ‘tiempo en tiempo’. Asimismo, implica concebir una línea abierta de tiempo, causal en términos kantianos, pues este va del pasado al futuro.

<sup>9</sup> Las B-series de tiempo se refieren a que todos los eventos son ontológicamente posibles, es decir, todos son reales. Esto implicaría una identidad y unicidad para cada instante de tiempo; por algo los eventos pueden agruparse en antes, ahora y después, lo cual puede resultar contrario a la idea de que ‘el tiempo fluye’, propia de las A-series. Para muchos autores, las B-series son las que más se adaptan a la idea de tiempo derivada de la TGR.

temporal del mundo’, pero no que exista el tiempo como un ente del mundo. La anterior afirmación sustenta lo que kantianamente sería la idealidad del tiempo: no es una substancia, ni una relación entre substancias.

Hablar de propiedades como el orden temporal, la ‘dirección del tiempo’ y el ‘paso del tiempo’ [passage], es compatible con las A-series del tiempo,<sup>10</sup> a la vez de con el modelo de objetividad kantiano vinculado a la noción de tiempo, como se ha visto. Sin embargo, uno de los inconvenientes es que lo anterior resulta controversial con el ‘carácter geométrico del tiempo’,<sup>11</sup> como es común en la TGR; aspecto más compatible con las B-series del tiempo. Aun así, la idealidad del tiempo, como la he caracterizado a la sazón de Kant, juega un rol fundamental en las ideas de Gödel.

### 3. Conceptos básicos de la Teoría General de la Relatividad (TGR)

La TGR constituye la base de la cosmología moderna. En términos generales, se cree que dicha teoría ha contribuido a configurar una idea precisa sobre lo que son el espacio y el tiempo físicos, en términos de la entidad espacio-tiempo. Esta teoría le atribuye una estructura geométrica intrínseca y objetiva al espacio-tiempo y, asimismo, “la distribución de la materia *influye* en la geometría del espacio-tiempo, pero la distribución de la materia no *determina* la geometría del espacio-tiempo” (Maudlin 2014: 198). Lo anterior está relacionado con las ecuaciones de campo de Einstein, base matemática de la TGR.

Así, tomando como base una “explicación de la gravedad, con relación a la curvatura del espacio-tiempo”, Einstein (2005: 435–445) propuso los siguientes principios,<sup>12</sup> (véase Hacyan 2013; Wald 1984):

<sup>10</sup> En términos kantianos, la “sucesión temporal” puede identificarse en el argumento de la “segunda analogía de la experiencia”, específicamente en el Principio de la sucesión temporal según la ley de la causalidad: “Todas las alteraciones suceden según la ley de la conexión de la causa y el efecto” (*KrV*, B232). Ella precisamente es compatible con la sucesión temporal sustentada en las A-series temporales.

<sup>11</sup> Hablar del ‘carácter geométrico del tiempo’ es referirse a cómo la estructura de la variedad diferenciable  $M$  (tres dimensiones espaciales y una temporal), que es una estructura geométrica, define una especie de ‘tiempo curvo’. En otras palabras, hay ciertos espacio-tiempos asociados a aspectos epistémicos de la TGR donde existen líneas temporales cerradas, como en el caso de las especulaciones de Gödel. Cabe señalar aquí que un aspecto epistémico de la TGR es que un objeto masivo curva la dimensión del tiempo y las tres dimensiones del espacio. En la sección cuarta se verá con más detalle esta idea.

<sup>12</sup> De manera análoga, la relatividad especial se sustenta en dos principios: i) la equivalencia de todos los marcos inerciales y ii) la constancia de la velocidad de la luz. Sobre la base de estos dos principios

i) El espacio-tiempo corresponde a una variedad riemanniana<sup>13</sup>  $M$  de dimensión 4 (con tres dimensiones espaciales y una temporal), esto es, una ‘variedad diferenciable’<sup>14</sup> cuya métrica,<sup>15</sup> en forma general, se expresa por  $ds^2 = \sum_{\mu, \nu} g_{\mu\nu} dx_{\mu} dx_{\nu}$ . En dicha variedad está definida localmente una métrica lorentziana (la de la relatividad especial).

ii) Principio de equivalencia. Los campos gravitacionales<sup>16</sup> son indistinguibles, es decir, no pueden distinguirse de las fuerzas ficticias que aparecen en todo sistema de referencia<sup>17</sup> acelerado. La aceleración gravitacional depende únicamente del campo gravitacional; por algo, en la presencia de dichos campos, un cuerpo describe una geodésica,<sup>18</sup> es decir, un campo gravitacional curvo al espacio-tiempo,<sup>19</sup> y de ahí la trayectoria del cuerpo al moverse.

iii) Principio de covarianza. Las leyes de la física son las mismas en todos los sistemas de referencia, ya sea inerciales o acelerados. Todos los sistemas de referencia son indistinguibles y equivalentes.

De aquí podemos remitirnos a las ecuaciones de campo, las cuales corresponden a un conjunto de diez ecuaciones en derivadas parciales no

es posible derivar las *transformaciones de Lorentz*, un conjunto de ecuaciones que relacionan un grupo de coordenadas con otro grupo de coordenadas.

<sup>13</sup> En términos generales, una variedad riemanniana corresponde a una generalización del espacio euclidiano en la cual se generaliza la métrica. Por ejemplo:  $R_2$ , el plano, es una variedad diferenciable.  $R_3$ , el espacio tridimensional, también sería una variedad diferenciable.

<sup>14</sup> Una variedad diferenciable es una variedad topológica (variedad de Riemann) tal que pueden extenderse sobre esta las nociones del cálculo diferencial, ya definidas en espacios euclidianos. En la variedad diferenciable pueden definirse funciones diferenciables, a la vez que campos de tensores diferenciables.

<sup>15</sup> Una métrica corresponde a una ‘función distancia’ que mide la distancia entre dos elementos de un conjunto. En el caso de espacios geométricos, la métrica es una función que define la distancia entre dos puntos. En  $R_2$  (plano cartesiano), por ejemplo, la ‘función distancia’ entre el punto  $P(x_1, y_1)$  y el punto  $Q(x_2, y_2)$  es  $d(P, Q) = [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]^{1/2}$ .

<sup>16</sup> Un campo gravitacional corresponde a un cúmulo de fuerzas en una cierta distribución espacio-temporal que representa a la gravedad. Es una cantidad física que puede medirse en una región y que depende de la masa de un objeto.

<sup>17</sup> Los sistemas de referencia son usados en física como una convención para situar a un ‘observador’ y que este pueda medir ciertas cantidades físicas como la posición, la velocidad, la aceleración, etc. Pueden considerarse sistemas de referencia inerciales (en reposo) o en movimiento. La representación gráfica de un sistema de referencia puede hacerse mediante un sistema de coordenadas, como el plano cartesiano.

<sup>18</sup> La geodésica es la línea más corta que une a dos puntos del espacio. En el caso de los espacios geométricos a los que se refiere la TGR, las geodésicas serían ‘líneas’ curvas.

<sup>19</sup> En diversa literatura sobre relatividad se presenta esta parte de la teoría en términos de que la presencia de materia-energía constriñe la estructura del espacio-tiempo; por algo este se curva.

lineales que, en términos generales, describen la gravedad como el resultado de la curvatura del espacio-tiempo debido a la presencia de materia y energía, o del campo gravitacional. Las ecuaciones de campo<sup>20</sup> son:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = (8\pi G/c^4)T_{\mu\nu} \quad (1)$$

$R_{\mu\nu}$ : Tensor de Ricci.

$g_{\mu\nu}$ : Tensor métrico ( $ds^2 = \sum_{\mu, \nu=0}^3 g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$ ).

$T_{\mu\nu}$ : Tensor energía-momento.

$G$ : Constante gravitatoria.

$R$ : Curvatura escalar.

$c$ : Velocidad de la luz.

$\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$ .

i) El Tensor de curvatura de Ricci  $R_{\mu\nu}$  es una magnitud tensorial,<sup>21</sup> con 10 componentes, combinación de las componentes del tensor de Riemann. Este último está conformado, en un espacio de 4 dimensiones, por 20 componentes linealmente independientes. A su vez, el tensor de Riemann determina la estructura del espacio-tiempo.

ii)  $R$  es la curvatura escalar. Corresponde a la traza invariante de la curvatura de Ricci, con respecto a una métrica específica.

iii)  $T_{\mu\nu}$  es el tensor de energía-momento, el cual contiene la información de la presencia, la densidad y la distribución de la energía y la materia en cada punto del espacio-tiempo ( $M$ ).

iv) El tensor métrico  $g_{\mu\nu}$ , asociado a la métrica, precisamente define la estructura del ‘campo gravitacional’ (es muy común en la literatura sobre la TGR asociar tal tensor métrico a las propiedades de un campo

<sup>20</sup> En la versión de las ecuaciones de campo que involucra lo que se conoce como ‘constante cosmológica’:  $\Lambda$ , en el lado izquierdo de las ecuaciones de campo, se suma al término:  $\Lambda g_{\mu\nu}$ . La constante cosmológica fue incluida por Einstein con la finalidad de obtener una solución de las ecuaciones de campo que diera un universo estático.

<sup>21</sup> Una magnitud tensorial caracteriza propiedades o comportamientos físicos que son modelados mediante un conjunto de números en una matriz (arreglo rectangular de números). Los números de la magnitud tensorial pueden cambiar de acuerdo a la elección de un sistema de referencia distinto al inicial y que puede estar en movimiento y en distinta dirección.



gravitacional), es decir, contiene la información correspondiente a cada punto del espacio-tiempo ( $M$ ).

De forma compacta, puede presentarse a las ecuaciones de campo como:

$$G_{\mu\nu}=8\pi kT_{\mu\nu} \quad (2)$$

Curvatura del espacio-tiempo=Densidad energética de materia.

En tal teoría, los efectos de la gravedad definen la curvatura del espacio-tiempo, la variedad diferenciable  $M$ . Dicha variedad constituye a su vez un espacio semi-euclidiano, con tres dimensiones del espacio y una dimensión del tiempo. Basta decir que, de acuerdo a la TGR, la presencia de materia curva en el espacio-tiempo y la estructura geométrica de este, al curvarse, hace que los cuerpos describan geodésicas en su movimiento. Esto es: un objeto masivo curva la dimensión del tiempo y las tres dimensiones del espacio, acorde a las ecuaciones de campo de Einstein. Cada solución de las ecuaciones de campo define un cierto espacio-tiempo, con una estructura geométrica intrínseca. Asimismo, una solución de dichas ecuaciones permitirá establecer condiciones observables, las que son verificadas por medio de los test, es decir, una verificación experimental.

Ahora bien, si hay ausencia de materia:

$$R_{\mu\nu} - (1/2)g_{\mu\nu}R=0 \quad (3)$$

Esta nulidad no implica que el espacio-tiempo pueda ser plano; en el vacío (ausencia de materia), el tensor de curvatura de Ricci es cero en todas partes, es decir, todas sus componentes son cero. Lo que sí podría implicar que el espacio-tiempo sea plano es que las 20 componentes del tensor de Riemann sean cero. Además, dado que en el lado derecho de las ecuaciones de campo

tenemos al tensor de energía-momento  $T_{\mu\nu}$ , puede entenderse que mientras más materia y energía haya, mayor será la curvatura. Cabe aclarar que la distribución de materia y energía no determina la estructura geométrica del espacio-tiempo, únicamente la constriñe, ya que si  $T_{\mu\nu}=0$ , una solución de las ecuaciones de campo resulta ser el espacio-tiempo de Minkowski de la relatividad especial, pero no es la única solución de las ecuaciones para este caso.

A su vez, para encontrar una solución de las ecuaciones de campo se deben considerar condiciones de contorno, esto es, condiciones en ciertas regiones del espacio-tiempo, dado que, por ejemplo, el espacio-tiempo es más curvo en regiones cercanas a una estrella y la curvatura va desvaneciéndose a la distancia de la estrella, en cuyo caso podría considerarse un espacio-tiempo asintóticamente plano.

De todo lo anterior puede identificarse que, dado el aspecto geométrico del espacio-tiempo, la dimensión temporal también se ve afectada por la presencia de materia, por lo que surge la cuestión de si cualquier espacio-tiempo curvo resulta compatible con las B-series temporales y, a su vez, con las A-series temporales. Principalmente, en toda solución de las ecuaciones de campo, debe aceptarse que el tiempo fluye y va del pasado al futuro, pasando por el presente; lo que también sustenta la idea de líneas temporales abiertas, es decir, que el tiempo solo fluye del pasado al futuro: idea intuitiva que tenemos del tiempo y, al mismo tiempo, ad hoc al modelo de objetividad temporal kantiano (ver sección 2), acorde asimismo con la noción de tiempo cósmico universal.<sup>22</sup> ¿Será entonces el concepto de tiempo, en Kant, compatible con el concepto de tiempo que se deriva de la TGR?

Gödel se dio a la tarea de analizar lo anterior, entre otros aspectos. Pero a su vez, tuvo la intuición, dadas las soluciones a las ecuaciones de campo que él obtuvo, de que en la TGR la noción de tiempo que más se deriva de esta posee rasgos kantianos.

<sup>22</sup> El que se considera como tiempo objetivo, que define una línea temporal abierta, la cual va del pasado al futuro y es independiente del tiempo propio de cada sistema de referencia o sistema coordinado.

#### 4. Las ideas de Gödel

El tratamiento que Gödel dio al problema del tiempo en el contexto de la TGR está referido a unas soluciones que obtuvo de las ecuaciones de campo.

La TGR es la base de la cosmología moderna y ciertas soluciones de las ecuaciones de campo se considera que representan la forma del universo. Así, dichas soluciones atienden a lo siguiente: ‘Principio cosmológico’, a gran escala, i) el universo es espacialmente homogéneo, y (ii) el universo es espacialmente isotrópico (el mismo para cualquier observador y en cualquier dirección).

En este sentido, en su artículo “Un ejemplo de un nuevo tipo de soluciones cosmológicas de las ecuaciones einstenianas del campo gravitatorio” (2006a), Gödel encuentra una solución de las ecuaciones de campo donde se observa un espacio-tiempo que no cumple completamente con el principio cosmológico, ya que el universo de Gödel: i) es homogéneo, ii) es infinito, iii) tiene una curvatura constante, iv) es estacionario (no admite expansión) y v) no da cuenta del desplazamiento hacia el rojo del espectro de la luz. Asimismo, se considera: i) que cada punto del espacio-tiempo es un evento y ii) que dos eventos A y B están unidos por un intervalo temporal  $I(A,B)$ <sup>23</sup> (o espacial).

Si  $I(A,B) < 0$ , tipo tiempo (no hay simultaneidad). El orden temporal es invariante, digamos que A precede a B en todos los marcos de referencia. Ambos eventos están causalmente conectados.

Si  $I(A,B) > 0$ , tipo espacio (no hay relación causal). No puede distinguirse si A precede a B o viceversa.

De lo anterior:

<sup>23</sup> En la relatividad especial se define el intervalo relativista invariante por  $I(A,B) = [(T(A)-T(B))^2 - (X(A)-X(B))^2 - (Y(A)-Y(B))^2 - (Z(A)-Z(B))^2]^{1/2}$ , y en forma diferencial es  $dI = (dT^2 - dX^2 - dY^2 - dZ^2)^{1/2}$ ; para la TGR, la forma diferencial se define como:  $dI^2 = \sum_{\mu, \nu} g_{\mu\nu} dx_{\mu} dx_{\nu}$  o  $dI = (\sum_{\mu, \nu} g_{\mu\nu} dx_{\mu} dx_{\nu})^{1/2}$ , puede ser también del lado izquierdo  $ds$  o  $ds^2$ , como generalmente se usa en la notación. Ahora bien, un intervalo temporal, desde el origen de un sistema de coordenadas, en relatividad especial, y un evento A es tal que  $I(A,0) = [(T(A)-T(0))^2 - (X(A)-X(0))^2 - (Y(A)-Y(0))^2 - (Z(A)-Z(0))^2]^{1/2}$ , es lo que se llama un ‘intervalo cero’, para todos los eventos (puntos) A, y es tal que  $I(A,0) = 0$ ; y habría que aclarar que, como dice Maudlin (2014: 122): “Las distancias entre los puntos en un diagrama de espacio-tiempo no se corresponden de forma directa con los intervalos entre los eventos representados”.

*T1:* En el universo de Gödel son posibles las líneas de universo de tipo temporal, en donde A es anterior a B (pasado de B), mientras que en otra línea A es posterior a B (pertenece al futuro de B).<sup>24</sup> Esto es debido a la geometría del espacio-tiempo, solución de las ecuaciones de campo que Gödel encontró. Una analogía de este universo puede verse en un espacio curvo de dimensión 2, que sería la superficie de una esfera, donde existen líneas cerradas (geodésicas) que van del polo norte, pasando por el polo sur y llegando al mismo polo norte. Si consideramos que tales líneas representan la ‘coordenada temporal’; y a su vez, la línea del ecuador sería un ejemplo de la ‘coordenada espacial’. Con la analogía, dada la línea temporal cerrada, ¿qué puntos sobre dicha línea temporal pueden considerarse pasado? ¿Cuáles presente, cuáles futuro?

*T2:* A su vez, existen líneas cerradas de tiempo, por lo que puede concebirse que no existe un tiempo absoluto, un tiempo cósmico universal, a diferencia de lo que se observa en ciertas soluciones de las ecuaciones de campo, basadas en el principio cosmológico.<sup>25</sup> Para encontrar soluciones a las ecuaciones de campo, se supone un tiempo cósmico universal, con lo que se da por hecho que existe un pasado y un futuro, se supone también que el tiempo ‘fluye’ en una única dirección (del pasado al futuro).

Todo lo anterior podría parecer que entra en contradicción con la idea kantiana del tiempo vinculado a la segunda analogía de la experiencia, el Principio de la sucesión temporal según la ley de la causalidad: “Todas las alteraciones suceden según la ley de la conexión de la causa y el efecto” (*KrV*, B232). Aquí, Kant nos proporciona un criterio de la sucesión temporal objetiva, en la experiencia. Sin embargo, cabe aclarar que lo que está en juego no es el criterio de objetividad de la epistemología kantiana. Desde los avances de las dos grandes teorías de la física moderna, la mecánica cuántica y la relatividad, parece que la primera teoría ‘viola’ el principio de la primera

<sup>24</sup> Para el caso de si  $I(A,B) > 0$ .

<sup>25</sup> Retomando la analogía de la superficie de la esfera, como un espacio-tiempo curvo de dimensión 2, se considera que los espacio-tiempos curvos que atienden al principio cosmológico son aquellos cuya topología (forma) obedece a un tipo paraboloides hiperbólico que se asemeja a la superficie de una silla de montar. En tal superficie, sea cual sea la dirección que se asocie a la coordenada temporal, esta corresponde a una parábola que no es una curva cerrada.

analogía de la experiencia, a la vez que el principio de causalidad, y la relatividad, entonces, el ‘principio de la sucesión temporal’, entre otros aspectos. A su vez, dichos avances han traído a colación el que se pueda plantear la pregunta: ¿cómo puede constituirse una experiencia de fenómenos que no atienden al modelo kantiano, siendo que las teorías de la física moderna han posibilitado llevar a cabo dichas experiencias? Los problemas derivados de esta última cuestión rebasan los alcances del presente artículo. Regresando a Gödel, a pesar de que hasta aquí pareciera que sus resultados contradicen a Kant, para el autor no es así.

En su artículo “Una observación sobre la relación entre la teoría de la relatividad y la filosofía idealista” (2006b), Gödel obtiene las consecuencias filosóficas del primer artículo mencionado, para lo cual, basta señalar que: i) el autor entiende por filosofía idealista aquella que niega la realidad objetiva<sup>26</sup> del tiempo y, por ende, la del cambio.<sup>27</sup> Ejemplo: la filosofía de Kant. Esta afirmación puede resultar una tanto controversial, pues pareciera que Gödel entiende a Kant como un ‘fenomenista’, tal que concebiría que nuestra experiencia temporal de los fenómenos no es objetiva, sino una apariencia, aspecto por lo demás inconsistente con la filosofía kantiana del conocimiento. Lo que está en juego en la interpretación de Gödel no es ni un cuestionamiento de dicha filosofía ni una mala interpretación de Kant, sino el hecho de que en la TGR pareciera que con la idea de tiempo no nos estamos refiriendo a algún ‘ente en el mundo’, algo objetivo que existe, del cual podemos dar cuenta. Todo esto estaría a su vez vinculado a un realismo científico respecto a la condición de verdad de una teoría como la TGR; específicamente a si tal teoría resuelve el problema sobre la naturaleza del tiempo. Dicho problema no es tratado en el presente trabajo. ii) Con todo lo anterior, para Gödel podría concluirse que: el tiempo es no objetivo, es decir, no existe substancialmente,

<sup>26</sup> Por ‘realidad objetiva’ hay que entender uno de los postulados básicos de todo realismo científico: existe una realidad externa a nosotros, y las teorías de la ciencia dan cuenta fiel de esta. Lo que en el caso del tiempo implicaría que la TGR da cuenta de la realidad objetiva del tiempo.

<sup>27</sup> L. Nathan Oaklander (2004: 20) señala que el problema del cambio enraíza dos aspectos básicos: i) por un lado, el cambio requiere ‘similaridad’, igualdad [sameness], es decir, una cosa que cambia debe ser una y la misma antes y después del cambio; si no es así, tendríamos dos cosas con propiedades distintas; y ii) el cambio debe requerir diferencia [difference], es decir, si algo está cambiando, ese algo debe tener una propiedad y posteriormente una propiedad distinta e incompatible: una manzana cambia de verde a roja, pero ¿permanece siendo una y la misma cosa? A su vez, se debe introducir al tiempo. Como se ha mencionado, muchos autores consideran que las B-series de tiempo son las que mejor se adaptan a la TGR, con lo que resulta controversial la idea de cambio en dicho contexto.

ni como una relación entre substancias. Lo que nos resta es vincularlo a la filosofía de Kant.

Gödel parte del análisis de la simultaneidad en la relatividad especial, lo que para él implica una relatividad de la sucesión temporal, ya que en su modelo puede darse que si el suceso A es causalmente anterior a B, para un observador,<sup>28</sup> para otro observador puede que sea lo contrario. Esto es, A y B no son simultáneos, e incluso no puede afirmarse que A ocurrió antes que B, desde la perspectiva de distintos observadores.

En este último sentido, el argumento de Gödel es que el cambio solo es posible a través de lapsos de tiempo (estratos de ‘ahoras’ que existen sucesivamente).<sup>29</sup> Pero debido a la relatividad de la simultaneidad, no es posible, entonces, establecer dichos lapsos de tiempo. Así, concluye, en primera instancia, que cada observador tiene su sistema de estratos de ‘ahoras’, por lo que no es posible aceptar que exista un sistema de lapsos de tiempo privilegiado, en contradicción con los modelos que consideran un ‘tiempo cósmico universal’ y en concordancia con las soluciones que él obtuvo de las ecuaciones de campo.

Recordemos que se pueden obtener ciertas soluciones de las ecuaciones de campo donde los tiempos locales de todos los observadores concuerdan con un tiempo universal (el ‘tiempo cósmico’), como es común entenderlo en los textos sobre relatividad, pues, debido a la concordancia de las soluciones de las ecuaciones de campo con respecto a las observaciones, no hay razones para abandonar la suposición de un tiempo cósmico universal. Con todo, para Gödel, lo anterior puede ponerse en cuestión debido a las distintas soluciones de las ecuaciones de campo, en especial a las que él encontró, donde se muestra la posibilidad de universos rotatorios (estáticos y homogéneos). Asimismo, por lo ya dicho sobre la simultaneidad y los lapsos de tiempo, en su modelo no es posible definir un tiempo global para los distintos observadores locales (véase *T1* y *T2*). Además, en los universos rotatorios es posible hacer un viaje de ida y vuelta, es decir, es posible viajar

<sup>28</sup> Por observador no debe entenderse aquí un ‘sujeto cognoscente’. Un ‘observador’ puede ser un reloj colocado en una ‘línea de mundo’ que mide un intervalo temporal.

<sup>29</sup> Parecería que con esta concepción lo que se está haciendo es declarar que existen entidades temporales intrínsecas, lo cual de nuevo nos conduce a una especie de substancialización del tiempo. Así lo han interpretado autores como Nathan Oaklander (2004). Resulta más pertinente entender que Gödel se está refiriendo a ‘propiedades temporales emergentes’.

a cualquier región del pasado, presente y futuro y volver al mismo punto. Sin embargo, esto puede conducir a absurdos lógicos.

Así, del conjunto de conjeturas anteriores Gödel extrae las siguientes conclusiones: i) no hay razones suficientes para admitir un lapso de tiempo objetivo, principalmente por las consecuencias sobre la posibilidad de los universos rotatorios. ii) Sin embargo, nuestro universo no puede llegar a representarse como el que se muestra en las soluciones del primer artículo, puesto que el universo en el que vivimos está en expansión, y hay corrimiento hacia el rojo. Aunque también hay soluciones para universos en expansión, y en estos puede que tampoco exista un tiempo absoluto. iii) Debido a la compatibilidad de las leyes de la naturaleza, para el caso de universos donde no se puede definir un tiempo absoluto, es posible traer a la luz ciertas consecuencias sobre los universos donde sí se puede definir un tiempo absoluto, pues implica establecer que un tiempo absoluto está transcurriendo y que la existencia o no de un lapso de tiempo objetivo depende del modo particular en que tanto la materia y su movimiento están distribuidos en el universo. Así, el tiempo objetivo sería una consecuencia contingente de la distribución fáctica de la materia en el universo;<sup>30</sup> algo que emerge y, a su vez, pertenece al ‘orden temporal del mundo’, en términos de cómo ‘experimentamos’ dicho orden, pero que no da cuenta de la existencia del tiempo como algo que subsiste por sí mismo.

Entre otras cosas, el trabajo de Gödel deja claro que en la TGR puede que no sea posible deducir un concepto de tiempo lineal (que va del pasado al futuro, pasando por el presente y, a la vez, posee una dirección) y que pueda considerarse una representación de un tiempo objetivo, dadas las soluciones a las ecuaciones de campo que él encontró. De ello se entendería que la

<sup>30</sup> Cabe aquí una precisión dada por Tim Maudlin (2014: 250): “En un cierto sentido es obvio que *cualquier* geometría del espacio-tiempo puede hacerse de manera que sea coherente con la ecuación de campo de Einstein. Tomamos una métrica arbitraria, calculamos el tensor de curvatura einsteiniano, y entonces usamos la ecuación de campo para *definir* el tensor de estrés-energía. Así que cuando juzgamos que algunas geometrías ‘no son físicas’ nos basamos en que consideramos que algunos tensores de estrés-energía no son físicos. Una condición estándar, la llamada condición de energía débil, esencialmente exige que en los marcos de Lorentz locales la densidad de la energía local no sea negativa [...] Por lo tanto, el intento de encontrar un escenario físico plausible para la formación de curvas cerradas de tipo tiempo significa encontrar una que satisfaga condiciones de energía razonables, que dé como resultado una solución estable y que no involucre curvas cerradas de tipo tiempo que ya se encuentren en las condiciones iniciales”. La cuestión aquí sería: ¿las soluciones de Gödel cumplen con las condiciones especificadas por Maudlin?

naturaleza objetiva del tiempo<sup>31</sup> resulte ser un aspecto controversial de la realidad. ¿El tiempo existe? ¿Es algo que fluye? Gödel entendió que la idea de tiempo, derivada de la TGR, tiene más que ver con la idealidad del tiempo en Kant (véase sección 2): ‘el tiempo no es una substancia ni una relación entre substancias, un ente que existe en sí mismo’.

Sin embargo, parecería que las ideas de Gödel solo atienden a una concepción del tiempo inserta en lo que se ha dado en llamar A-Teorías del tiempo, que ordenan las series temporales en pasado, presente y futuro, lo que implica un ‘flujo’ del tiempo; a la vez de que ciertos autores lo ubican como concibiendo que solo existe el ahora. ¿Será el caso de que, efectivamente, Gödel solo es compatible con las A-Teorías del tiempo; con el presentismo?<sup>32</sup>

El tiempo, a la sazón de Kant, tiene una realidad empírica. Propiedades temporales de los objetos de experiencia como la permanencia, la sucesión y la simultaneidad son ‘experimentadas’, gracias a como Kant lo explica en las analogías de la experiencia, pero ¿existe el tiempo como algo independiente de esos objetos de experiencia, esto es, de los fenómenos? Cuando a lo sumo, por ejemplo, el concepto de ‘simultaneidad’, derivado de la relatividad especial, no es el mismo para Kant, eso no implica que los hallazgos de la TGR muestren una superación de la filosofía kantiana, como ya las ideas de Gödel nos han podido demostrar. En todo caso, hay que entender a Gödel en términos de que la TGR no da cuenta del problema de la naturaleza del tiempo; más bien, dicha teoría nos muestra solo el aspecto relativo del tiempo.

## 5. Críticas a las ideas de Gödel

Las conclusiones de Gödel y su interpretación sobre la filosofía idealista han sido objeto de ciertas críticas, sobre todo de aquellos que consideran que, tanto en la relatividad especial como en la TGR, sí se puede tener una idea del tiempo objetivo.

<sup>31</sup> Entiéndase ‘naturaleza objetiva del tiempo’ en términos de que pareciera que la TGR es la teoría de la física que da cuenta de la naturaleza del tiempo.

<sup>32</sup> El presentismo es la concepción metafísica sobre la naturaleza del tiempo que postula que lo único que existe es el presente.



### 5.1. Nathan Oaklander

Nathan Oaklander (2004) ubica a Gödel en la tradición de McTaggart (1908),<sup>33</sup> ya que le adjudica la concepción de que el tiempo es ideal, en el sentido de que es una ilusión que no representa nada en la realidad objetiva. El autor lleva a cabo su crítica interpretando que Gödel solo considera lo que se conoce como A-Teorías del tiempo, tal que los eventos en el tiempo son ordenados en términos de pasado, presente y futuro (A-series, A-propiedades). Ello implica una ‘tensión temporal’, es decir, un ‘*temporal becoming*’ [‘devenir’].<sup>34</sup> De lo anterior, según Oaklander, puede Gödel argumentar: i) si la relatividad es cierta (que todo indica que sí) y, ii) como los universos de Gödel son posibles, entonces, iii) la concepción en términos de A-Teorías del tiempo resulta ser falsa (en concordancia con McTaggart por ejemplo), lo que lo lleva a concluir que, iv) el tiempo es una ilusión.

Para Oaklander, Gödel deja de lado las B-Teorías del tiempo, según las cuales los eventos pueden ordenarse como en una red que distingue entre eventos anteriores, posteriores y simultáneos (B-series, B-propiedades). Le atribuye a Gödel que este, al tomar en consideración solo las A-Teorías del tiempo, está ‘espacializando al tiempo’. La pregunta es: ¿acaso no tanto la relatividad especial como la TGR lo hacen implícitamente al postular la entidad espacio-tiempo? Para Oaklander las B-Teorías del tiempo toman las series de tiempo como ‘genuinas posibilidades’, es decir, las relaciones temporales son primitivas e inanalizables,<sup>35</sup> y de manera tal que las

<sup>33</sup> McTaggart (1908: 457) distingue entre series A y series B del tiempo, de tal forma que: “En pro de la brevedad hablaré primero de las series de posición que corren del lejano pasado a través del cercano pasado, al presente, y desde el presente al cercano futuro, y al lejano futuro. Las series de posición que corren del antes al después las llamaré las B series” [“For the sake of brevity I shall speak of the series of positions running from the far past through the near past to the present, and the from the present to the near future and the far future, as the A series. The series of positions which runs from earlier to later I shall call the B series”].

<sup>34</sup> El problema del *becoming* ha llegado a ser muy robusto en la literatura sobre la naturaleza del tiempo, está obviamente asociado al problema del cambio.

<sup>35</sup> Oaklander (2004: 25) da una cita de C. D. Broad donde este define lo que entiende por ‘relación temporal’: “Las características temporales están entre lo más fundamental de nuestra experiencia de objetos, y por tanto no pueden ser definidos. Debemos comenzar por admitir que en ciertos casos juzgar que un evento experimentado es después que otro, en la misma inmediata forma como podemos juzgar que vemos que un objeto es la razón de otro [...] Sobre estas relaciones de antes y después, las cuales inmediatamente reconocemos, todo adicional conocimiento del tiempo es construido” [“Temporal characteristics are among the most fundamental in the objects of our experience, and therefore cannot be defined. We must start by admitting that we can in certain cases judge that one experienced event is later than another, in the same immediate way as we can judge that one seen object is to the right of another [...] On these relations of before and after, which we immediately recognize, all further knowledge of time is built”]. Lo curioso de esta concepción es que, si las relaciones temporales son primitivas e inalcanzables, y solo poseemos experiencias que nos permiten juzgar en términos de antes

diferencias entre las relaciones temporales habrán de ser diferencias irreductibles, cualitativamente hablando. Sin embargo, en atención a esto: ¿cómo ordenamos los eventos temporales en cualquier teoría de la física? ¿No acaso como eventos simultáneos, o que han sucedido antes, o después uno con respecto al otro? ¿Cómo estamos a su vez seguros de que tenemos una idea objetiva del tiempo? Creo que la experiencia tendría una respuesta. Y, asimismo, ¿dónde quedan ciertas propiedades temporales como la causalidad, que precisamente permite establecer una diferenciación entre eventos, entre las relaciones temporales? Por lo que, ¿la causalidad no tendría cabida en la relatividad especial, en la TGR?

Cabe señalar que, físicamente hablando, se considera una línea temporal causal en la TGR,<sup>36</sup> dado que esto permite establecer soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein, es decir, modelos de universos posibles. Si no fuera el caso: ¿cómo podría a su vez postularse un ‘tiempo cósmico universal’, una línea temporal objetiva? Las B-Teorías del tiempo tienen sustento en la TGR, las A-Teorías del tiempo, también; por algo se habla de un ‘tiempo cósmico universal’, noción que las ideas de Gödel pone en duda a partir del conjunto de soluciones que él obtuvo. Como ya se mencionó en la sección 3, ‘el aspecto geométrico del tiempo’, propio de la TGR, permite sustentar relaciones temporales complejas como las de las B-Teorías. Sin embargo, dado el principio cosmológico: ¿no acaso las B-Teorías son incompatibles con la línea temporal causal del tiempo? Puesto que dichas B-Teorías permiten sustentar que las propiedades temporales son meramente relacionales, ¿cuál sería entonces una línea temporal objetiva?

Las B-Teorías del tiempo tienen sustento en la TGR, dados los aspectos estructurales y topológicos de la ‘variedad espacio-tiempo’ (ver sección 3). Sin embargo, la postulación del ‘tiempo cósmico universal’ que se adecua a la idea del tiempo, propia de las A-Teorías, es precisamente lo que le permite a Gödel especular sobre si realmente el tiempo es un ente

y después, por ejemplo, ¿cómo es entonces que podemos asimismo juzgar sobre un ‘tiempo objetivo’ en nuestras teorías físicas?

<sup>36</sup> Stephen Hawking y George Ellis en su libro *The Large-Scale Structure of Space-Time* (1973: 189–192) afirman: “El espacio-tiempo satisface lo que llamaremos *condición de cronología*: a saber, que no hay curvas cerradas de tiempo” [“That space-time satisfies what we shall call the *chronology condition*: namely, that there are no closed timelike curves”]; lo que en términos generales implica una condición de causalidad en la dirección del tiempo, puesto que como los mismos autores mencionan más adelante: “En soluciones físicamente realistas, las condiciones de causalidad y cronología son equivalentes” [“In physically realistic solutions (de las ecuaciones de campo), the causality and chronology conditions are equivalent”].

objetivo y no más bien algo ideal, a la sazón de Kant. Aspectos como el de la ‘flecha del tiempo’, el cambio, etc., resultan ser controversiales en las B-Teorías vinculadas a la TGR; de aquí que las ideas de Gödel siguen sosteniéndose en cuanto al aspecto ideal del tiempo.

## 5.2. R. T. W. Arthur

Una crítica interesante es la llevada a cabo por R. T. W. Arthur (2008), donde el autor acusa a Gödel de no haber distinguido entre el ‘tiempo propio’<sup>37</sup> y el ‘tiempo coordinado’.<sup>38</sup> Según Arthur, al referirse Gödel al ‘tiempo de los observadores’<sup>39</sup> está solo considerando al tiempo coordinado y deja de lado al tiempo propio, el cual resulta ser objetivo y fundamental. Por ello, ejemplificando la noción de tiempo propio a partir de una versión de la paradoja de los gemelos en la relatividad especial, el autor llega a la conclusión de que las ideas de Gödel, en cuanto a la no objetividad del tiempo, no se sostienen.

El problema con la crítica de Arthur es que parece que equipara ‘observador’ a ‘sujeto en un sistema de referencia’, y de ahí interpreta la concepción que Gödel tiene de la filosofía kantiana. Físicamente, por ejemplo, un ‘observador’ puede ser el reloj que se mueve por una línea de mundo y mide un tiempo, a diferencia de un sujeto colocado en un sistema de

<sup>37</sup> El autor (Arthur 2008: 218) menciona que la noción de tiempo propio fue introducida por Minkowski, en su famoso artículo de 1908: “Si en un punto  $P(x,y,z,t)$  en el espacio-tiempo imaginamos una línea de mundo corriendo a través del punto, la magnitud correspondiente al vector tiempo  $dx, dy, dz, dt$  establecido como libre a lo largo de la línea es

$$d\tau = [c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2]^{1/2} / c$$

El tiempo propio es ahora definido como la integral de esta cantidad a lo largo de la línea de mundo en cuestión. Introduciendo el concepto, Minkowski escribió: “La integral de esta cantidad, tomada a lo largo de la línea de mundo desde un espacio que comienza en el punto  $P_0$  al punto final variable  $P$ ” [“If at any point in spacetime we imagine a worldline running through that point, the magnitude corresponding to the timelike vector  $dx, dy, dz, dt$  laid off along the line is

$$d\tau = [c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2]^{1/2} / c$$

Proper time is now defined as the integral of this quantity along the worldline in question. Introducing the concept, Minkowski wrote: “The integral  $\tau = \int d\tau$  on this quantity, taken along the worldline from any fixed starting point  $P_0$  to the variable endpoint  $P$ , we call the proper time of the substantial point at  $P$ ”].

<sup>38</sup> “El problema con la formulación de Gödel, como espero ser claro en este momento, es que falla en apreciar la degeneración del tiempo: un lapso de tiempo no está representado en la teoría de la relatividad por la función del tiempo coordinado, más bien por el tiempo propio” [“The problem with Gödel formulation, as I hope should be clear by this juncture, is that it fails to appreciate the degeneracy of time: time lapse is not represented in relativity theory by the time co-ordinate function, but by proper time”] (Arthur 2008: 224).

<sup>39</sup> “Precisamente Gödel acababa de descubrir soluciones de las ecuaciones del campo gravitatorio de la relatividad general que determinan un modelo de universo en el que es imposible encajar los tiempos locales de los observadores particulares en un tiempo cósmico y en el que el tiempo pierde su carácter absoluto. En ese universo gödeliano es posible viajar por el tiempo hacia adelante y hacia atrás” (*ápu*d Gödel 2006: 385–386).

referencia inercial. Además, la idea de ‘tiempo propio’ presupone una línea temporal, un ‘devenir’, donde el tiempo corre de un pasado a un futuro, ¿no es esto básico en las A-Teorías del tiempo, las cuales son precisamente las teorías que Gödel pone en entredicho dadas las soluciones de las ecuaciones de campo que él encontró?

Si bien Gödel habla de observadores y de marcos de referencia, su idea es coherente con la noción de algo así como ‘tiempo perceptivo’, a la vez de con la del tiempo propio en la relatividad especial. El tiempo al que se refiere Arthur es el tiempo medido por un reloj en una línea de mundo. Si un observador (dígase el gemelo A) describiera dicha línea de mundo, su percepción temporal sería equivalente a la medida por un reloj que lo acompaña en su movimiento y, asimismo, la percepción temporal de otro observador (gemelo B) en reposo, sería equivalente a la medida por su propio reloj. ¿Serían ambas ‘percepciones temporales’ compatibles con el tiempo propio? Si puede hablarse de ‘tiempo coordinado’ y de ‘tiempo propio’, ¿no se está, en un cierto sentido, relativizando el tiempo?

Cabe aclarar que el tiempo propio es un cálculo matemático, que se obtiene atendiendo a propiedades de la variedad espacio-tiempo cuatridimensional y, a su vez, dicha noción debe aceptar el ‘pasaje del tiempo’, más acorde a las A-Teorías del tiempo.

Ahora bien, ¿puede decirse que la noción de tiempo postulada por la TGR atiende al hecho de que las relaciones temporales, sean cuales sean estas, son explícitamente representadas por los eventos físicos, independientemente de los observadores, estos últimos entendidos en el sentido de lo que es descrito coherentemente por nuestra experiencia? Si la respuesta es afirmativa, entonces conllevaría afirmar a su vez que nuestra experiencia del tiempo es no objetiva, lo que en cierto sentido estaría en concordancia con la idea de que la TGR niega la realidad física configurada por la física newtoniana, y, de ahí, rechazar el modelo de ciencia kantiano. Pero, asimismo, como nuestras experiencias temporales permiten tener noción de series temporales tipo pasado, presente y futuro (A-Teorías del tiempo), y de las series de tipo antes, simultáneo y después (B-Teorías del tiempo), entonces: ¿cómo podemos ordenar los eventos en una flecha temporal, a su vez, causalmente? ¿Cómo es que podemos discriminar entre un tiempo coordinado y un tiempo propio, entre un tiempo de los observadores y un tiempo cósmico, y, a su vez, postular que hay un tiempo objetivo, más allá de

nuestra experiencia? Finalmente, ¿la idea de tiempo es algo que proviene de nuestras experiencias al ordenar temporalmente los fenómenos o es algo inherente a nuestra mente, en el sentido trascendental kantiano? Si el tiempo no fuera algo objetivo, ¿cómo puede servir de criterio para la realidad de las cosas?

Antes de pasar a las conclusiones, cabrían aquí los siguientes puntos: i) si las ideas de Gödel son pertinentes y el tiempo es trascendentalmente ideal, a la sazón de Kant, entonces: ii) puede ser que el tiempo no exista ‘sobre’ y ‘en’ las entidades físicas, es decir, que las cosas no posean propiedades temporales. iii) Quizá el tiempo solo sea ‘algo’ que emerge de los fenómenos. iv) Al ser presupuesto por las teorías físicas, el tiempo de nuestra experiencia no se refiere al ‘tiempo físico’, puesto que nuestra experiencia temporal no se adecúa a la noción de tiempo derivada, por ejemplo, de la TGR. v) Si (i) es cierto, entonces el tiempo no existiría independientemente de nuestra experiencia. vi) Pero si (i) es falso y existe un tiempo objetivo, entonces, ¿cómo es que tendríamos noción de un tiempo más allá de nuestra experiencia, como en las teorías físicas? Según Kant, no podríamos ir más allá de nuestra experiencia. vii) Finalmente, ¿el tiempo es trascendentalmente ideal solo si las A-Teorías del tiempo y las B-Teorías del tiempo son compatibles? ¿Es la TGR la teoría que logra lo anterior?

La idea de tiempo derivada de la TGR parece más bien reivindicar la concepción kantiana, puesto que parece no dar respuesta a la cuestión: ‘¿el tiempo es un ente del mundo?’ Es posible que Gödel tenga razón al vincular las consecuencias filosóficas de sus resultados en el contexto de la TGR con la filosofía kantiana.

## 6. Conclusiones: Gödel y la filosofía kantiana

Aquí es posible retomar de nuevo a Gödel<sup>40</sup> y reformular sus ideas: si el tiempo objetivo (como entidad de la realidad) puede ser postulado en las teorías, en los modelos teóricos, y dicha noción no se adecúa a nuestra experiencia común, a la experiencia de observadores en marcos inerciales, entonces debe decirse que ‘el tiempo subjetivo’ quizá no se refiera al mundo físico, como lo deja ver la TGR. Aunque, en tal teoría existen distintas

<sup>40</sup> Cabe aclarar que no existen condiciones experimentales para verificar la pertinencia de las soluciones a las ecuaciones de campo que Gödel encontró. Sus ideas se insertan en el ámbito especulativo.

nociones de tiempo;<sup>41</sup> entonces, ¿realmente el tiempo es algo independiente de la mente? Resulta curioso que las ideas de Kant sobre el tiempo parecen reivindicarse por la TGR, a diferencia de lo que algunos filósofos de la ciencia han creído.<sup>42</sup>

Ahora bien, aceptando que la representación de un evento, en términos de un ‘punto espaciotemporal’, representa una realidad y las ‘líneas de mundo’ (líneas temporales), un ‘cambio en el tiempo’, ¿cada punto espaciotemporal representa un instante de tiempo distinto y real? ¿Hay una noción clara del ‘ahora’, del presente, en la relatividad especial, en la TGR? Esto nos llevaría a indagar alrededor de la naturaleza del tiempo en términos metafísicos acerca de si solo existe el presente (presentismo) o solo el presente y futuro (posibilismo) o el conocido eternalismo.<sup>43</sup>

Quizá, en términos kantianos, sea más factible decir que:

Si el tiempo es solo una forma de percepción, si solo se encuentra en los fenómenos, en las cosas para nosotros, si es solo una variable de las ecuaciones de la física, entonces el tiempo circular de Gödel, el Eterno Retorno y las máquinas del tiempo no son conceptos contradictorios. No conducen a ninguna paradoja en el mundo de las cosas en sí, porque allí no fluye el tiempo (Hacyan 2004: 198).

Resulta más efectivo afirmar, parafraseando a Hao Wang (1995), que el espacio-tiempo cuatridimensional es ‘natural’ para el mundo físico, pero no resulta ser un sistema coordinado natural para la mente. Por tanto, el

<sup>41</sup> “Hay muchas distintas nociones de tiempo empleadas en GTR: tiempo coordinado  $t$ , tiempo propio  $S$ , tiempo de los relojes  $T$ , tiempo cosmológico  $t_{Fr}$ , tiempo asintótico de Poincaré... Los últimos dos se refieren solamente a la descripción de soluciones especiales de las ecuaciones de Einstein. Ellas son irrelevantes en una discusión sobre la ontología del tiempo, porque una diferente ontología para diferentes soluciones de la misma teoría es ciertamente insatisfactoria. Los tiempos de relojes son simplemente las lecturas de ciertas variables físicas, las cuales pueden ser localmente empleadas como la variable independiente por conveniencia” [“There are many distinct notions of time employed in GR: coordinate time  $t$ , proper time  $S$ , clock times  $T$ , cosmological time  $t_{Fr}$ , asymptotic Poincaré’ time. The last two refer to the description of special solutions of the Einstein field equations only. They are irrelevant in a discussion of the ontology of time, because a different ontology for different solutions of the same theory is certainly unsatisfactory. Clock times are simply the readings of certain physical variables, which can be locally employed as the independent variable for convenience”] (Rovelli 2006: 34).

<sup>42</sup> En este sentido, puede consultarse a autores clásicos como Reichenbach (1920 [1965]) o Schlick (1923).

<sup>43</sup> El eternalismo es la concepción metafísica del tiempo que plantea que todos los eventos temporales existen, el llamado ‘Universo de bloque’, y por tanto, el universo está en constante expansión, con lo cual, las diferencias entre pasado, presente y futuro solo son diferencias de perspectiva.

tiempo solo es un marco natural de referencia, en el sentido kantiano, por lo que, a su vez, permite llevar a cabo un ordenamiento de los fenómenos. Lo que queda finalmente es su condición tanto ideal como subjetiva.

Gödel entendió que desde la relatividad de Einstein no era posible aceptar una concordancia entre la idea intuitiva de tiempo (la experiencia de este) y lo que a partir de dicha teoría se entiende por ‘tiempo objetivo’. Simplemente, Gödel mostró que la idea de tiempo lineal, más ad hoc con nuestra idea intuitiva, no se puede deducir de la TGR.

La relatividad, para Gödel, no capta la esencia del tiempo intuitivo, porque cuando esta llega al tiempo, nuestras intuiciones nos traicionan. ‘El tiempo, tal como nos lo presentamos a nosotros mismos’, decía, ‘simplemente no encaja con los hechos. Llamarlo tiempo subjetivo es solo un eufemismo’. Este era, para Gödel, el punto de intersección entre el idealismo de Kant y el idealismo temporal implícito en la física de Einstein (Yourgrau 2007: 176).

Para Kant, el tiempo es no objetivo, es decir, no es un ente del mundo. Como vimos en la sección 2, el punto medular de la idealidad del tiempo es la idea de que este no es ni una substancia ni una relación entre substancias. Pero no es que el tiempo esté sobre las substancias, sobre los objetos, ni que sea algo que nosotros ponemos sobre estos. El tiempo es la forma del sentido interno que permite ordenar los fenómenos, un orden tal que posibilita la presentación temporal de los particulares. La TGR, en un cierto sentido, elimina la noción de un tiempo absoluto y el concepto de simultaneidad absoluta; de ahí que para Gödel esto sea una evidencia de que el tiempo no tiene una realidad objetiva, que sea un ente que exista (Hacyan 2006).

Todas las problemáticas implícitas que giran en torno a la naturaleza del tiempo, ya sea por vía científica (mecánica newtoniana, relatividad especial o general, termodinámica, mecánica cuántica), ya sea en su sentido metafísico (presentismo, posibilismo, eternalismo, etc.) dan un tratamiento del tiempo con distintos ‘matices ontológicos’; entonces, ¿puede hablarse de una unicidad en el concepto de tiempo?

A juicio de Kant, el tiempo no existe, y no existe porque no es un ‘objeto externo’. Si fuera un objeto, se podrían establecer condiciones para constituirlo, ¿no sería esto una especie de reificación?

Por lo que hemos visto, ¿por qué el tiempo no es una entidad cuya experiencia sea similar a la experiencia de cualquier otra entidad de la física? ¿Por qué la noción de tiempo no es una y la misma en mecánica clásica, en la relatividad especial, en la TGR, en mecánica cuántica? Cabe aquí una afirmación de Kant:

El tiempo no es algo que subsista por sí mismo, o que sea inherente a las cosas, como determinación objetiva, y que por tanto permanezca, si se hace abstracción de todas las condiciones subjetivas de la intuición de ellas; pues en el primer caso, aun sin objeto efectivamente real, sería algo que sería efectivamente real (*KrV*, A33).

Idealidad y subjetividad del tiempo sustentan la condición ontológica de este en clave kantiana.

La TGR ha permitido configurar una idea, como lo pensaba Gödel, quizá más cercana al carácter relativo del tiempo, pero no ha resuelto el problema sobre qué es el tiempo, sobre su naturaleza.

La idealidad del tiempo ha de entenderse en términos de que este no es una substancia, ni una relación entre substancias, por lo que no es algo que exista. Entonces, ¿queda aún lugar para Kant? Las consecuencias filosóficas que Gödel extrajo de sus soluciones a las ecuaciones de campo de la TGR parecen reivindicar al filósofo de Königsberg.

### Referencias

ARTHUR, R. T. W.: “Time Lapse and the Degeneracy of Time: Gödel, Proper Time and Becoming in Relativity Theory”, en DIEKS, D. (ed.): *The Ontology of Spacetime II*, Paises Bajos, Elsevier, 207–227, 2008.

DAINTON, B.: *Time and Space*, Londres, McGill Queen’s University Press, 2010.

DICKER, G.: *Kant’s Theory of Knowledge*, Oxford, Oxford University Press, 2004.

DORATO, M.: “Kant, Gödel and Relativity”, en GARDENFORS, P.; KIJANIA-PLACEK, K.; WOLENSKI, J. (eds.): *Proceedings of the invited*



- papers for the 11<sup>th</sup> International Congress of the Logic Methodology and Philosophy of Science*, Dordrecht, Synthese Library, Kluwer, 329–346, 2006.
- EINSTEIN, A.: *Einstein. Obras esenciales*, Barcelona, Crítica, 2005.
- GÖDEL, K.: *Obras completas*, Madrid, Alianza Editorial, 2006.
- GUYER, P.: *Kant and the Claims of Knowledge*, Nueva York, Cambridge University Press, 1987.
- HACYAN, S.: *Física y Metafísica del espacio y el tiempo*, México, Fondo de Cultura Económica, 2004.
- \_\_\_\_\_: “On the Transcendental Ideality of Space and Time in Modern Physics”, *Kant-Studien* 97 (2006) 382–395.
- \_\_\_\_\_: *Relatividad para estudiantes de física*, México, Fondo de Cultura Económica, 2013.
- HAWKING, S. W.; ELLIS, G. F. R.: *The Large-Scale Structure of Space-Time*, Cambridge, Cambridge University Press, 1973.
- KANT, I.: *Crítica de la razón pura*, México, Fondo de Cultura Económica, 2008.
- \_\_\_\_\_: *Theoretical Philosophy 1755-1770*, Nueva York, Cambridge University Press, 1992.
- \_\_\_\_\_: *Prolegómenos a toda metafísica futura que haya de poder presentarse como ciencia*, Madrid, Istmo, 1999.
- LAZOS, E.: *Disonancias de la Crítica. Variaciones sobre cuatro temas kantianos*, México, IIF/UNAM, 2014.
- MARKOSIAN, N.: “Time”, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2010, <http://plato.stanford.edu/archives/win2010/entries/time/>.
- MAUDLIN, T.: *Filosofía de la física I. El espacio y el tiempo*, México, Fondo de Cultura Económica, 2014.
- McTAGGART, J. E.: “The Unreality of Time”, *Mind: A Quarterly Review of Psychology and Philosophy* 17 (1908) 456–473.
- OAKLANDER, L. N.: *The Ontology of Time*, Nueva York, Prometheus Books, 2004.

REICHENBACH, H.: *The Theory of Relativity and A Priori Knowledge*, Berkeley, CA, University of California Press, 1965.

ROVELLI, C.: “The Disappearance of Space and Time”, en DIEKS, D. (ed.): *The Ontology of Spacetime*, Paises Bajos, Elsevier, 25–36, 2006.

SHABEL, L.: “The Transcendental Aesthetic”, en GUYER, P. (ed.): *Kant’s Critique of Pure Reason*, Cambridge, Cambridge University Press, 93–117, 2010.

SCHLICK, M.: *Space and Time in Contemporary Physics: And Introduction to the Theory of Relativity and Gravitation*, Oxford, Oxford University Press, 1923.

SKLAR, L.: *Space, Time, and Spacetime*, Berkeley, CA, University of California Press, 1977.

STEIN, H.: “Newtonian spacetime”, *Texas Quarterly* 10 (1967) 174–200.

WALD, R. M.: *General Relativity*, Chicago, IL, University of Chicago Press, 1984.

WANG, H.: “Time in Philosophy and in Physics from Kant and Einstein to Gödel”, *Synthese* 102, 2 (1995) 215–234.

YOURGRAU, P.: *The Disappearance of Time*, Cambridge, Cambridge University Press, 1991.

\_\_\_\_\_: *Un mundo sin tiempo*, Barcelona, Tusquets, 2007.