

bien equilibrada) *The Encyclopedia of Philosophy* (1967) y que contó con la participación de casi 500 especialistas de países y horizontes intelectuales diferentes, reconoce en la introducción “que sería vano pretender que esta *Encyclopedia* está libre de prejuicios y que mis propios compromisos ideológicos no han influido significativamente en su contenido. Como la mayoría de mis consejeros más cercanos, he sido educado en la tradición empírica y analítica de la filosofía anglosajona”. La otra actitud consiste en no decir nada explícitamente sobre las preferencias personales y dejar que el lector las encuentre o las adivine por sí solo: ésta es la posición de Mosterín y Torretti (para ver la influencia del punto de vista léase, por ejemplo, el artículo sobre el determinismo). Los autores están conscientes de la dificultad: “De los términos [propiamente filosóficos] ofrecemos solo elucidaciones... liberalmente... Sería utópico pretender que nuestras explicaciones de estos términos sean aceptables para todos” (p. 10).

El volumen emana de un espíritu bourbakista: consideración de un tema desde su comienzo, exposición lógica y sistemática que lo hace accesible, en principio, al neófito, apertura a algunos aspectos históricos. En la descripción y explicación de los términos los autores buscaron informar de manera exacta. La información y la exactitud son las propiedades sobresalientes y distintivas del *Diccionario*. Ellas permiten la asimilación segura de las nociones. Cuando el tema es controvertido, el lector sabe a qué atenerse: si no comparte tal o cual opinión de los autores, sabe qué es lo que no comparte y llega a conocer mejor, de manera más explícita, sus propias hipótesis. Cada persona, según su formación, conocimientos e intereses, echará de menos alguna noción, pensará que tal concepto favorito merecía un mayor desarrollo -estas observaciones son inevitables. Pero dado el número de páginas de la obra y las clases de términos reunidos por los autores arriba mencionadas, se reconocerá que la calidad y el número de explicaciones forman un texto difícilmente mejorable.

MIGUEL ESPINOZA

**Roberto Torretti**, *Relatividad y espaciotiempo*. Ril editores, Santiago de Chile, 2003. - 275 pp.

Desde Platón y Aristóteles, la geometría ha sido siempre para los filósofos el paradigma del saber claro, riguroso y seguro al que aspiraban. En el siglo XVII Newton y Spinoza practicaban lo que Torretti ha llamado el método axiomático como género literario, es decir, trataban de conferir a sus escritos el aura de prestigio que acompañaba a la geometría. Incluso la ética se presentaba *ordine geometrico demonstrata*. En el siglo XVIII Kant pretendía explicar la presunta validez universal de la geometría euclídea elevándola al rango de forma a priori de la sensibilidad humana. Todo lo vemos de color euclídeo porque solo podemos mirar el mundo a través de las gafas euclídeas. Sin embargo, en el siglo XIX la geometría única se bifurcó en geometrías distintas: euclídeas, no euclídeas, proyectivas y de curvatura variable. La geometría resultaba

ser mucho más rica y sutil de lo que se había pensado. Matemáticos como Riemann, Klein, Poincaré y Hilbert articularon la nueva situación intelectual. Los filósofos, fascinados y perplejos, se veían desbordados por la complejidad técnica de los nuevos desarrollos. El joven Bertrand Russell, sin embargo, los sometió a análisis filosófico en su libro *An Essay on the Foundations of Geometry* (1897), pero su síntesis de filosofía kantiana y geometría proyectiva resultó prematura e inestable. Su condena como lógicamente imposible de la geometría riemanniana de curvatura variable fue su mayor error, como él mismo reconoció más tarde. De hecho, todavía habría que esperar ochenta años más hasta la aparición, en 1978, de la primera obra histórica y filosófica que da cuenta cabal de la revolución geométrica del siglo XIX. Su autor era Roberto Torretti.

El interés de Torretti por la geometría y la relatividad constituye una vocación tardía, de la que no hay síntoma alguno en los primeros cuarenta años de su vida, aunque quizá se fraguase ya entre 1964 y 1970, cuando profesó la filosofía en la Facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile, rodeado de científicos. En cualquier caso, esa vocación floreció durante los 25 fecundos años (1970-1995) que pasó como catedrático de filosofía de la Universidad de Puerto Rico. Allí decidió escribir su libro sobre la geometría y obtuvo un año sabático para ello. En septiembre de 1974 Torretti se puso manos a la obra en Madrid. Dos años tardó en redactar su libro, *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré*, finalmente publicado en 1978, reeditado en 1984 y todavía no superado. En su libro más reciente, *Relatividad y espaciotiempo* (2003), esta temática reaparece en el último capítulo, "La geometría decimonónica", una obra maestra de claridad y síntesis.

Ya Riemann había planteado el carácter empírico y no a priori de la tarea de averiguar la geometría del mundo físico. En 1915 Albert Einstein había encontrado las ecuaciones del campo gravitacional, que hacen depender la curvatura variable del espaciotiempo de la variable distribución de la energía. En 1916 publicó la versión definitiva de la teoría general de la relatividad. Ese año y el siguiente Karl Schwarzschild, Willem de Sitter y el mismo Einstein habían encontrado soluciones exactas de las ecuaciones, que abrían el camino a la cosmología relativista. La solución de Schwarzschild, en particular, permitía solucionar la anomalía que para la física newtoniana representaba el avance del perihelio de Mercurio. En 1919 dos expediciones, dirigidas por Eddington y Crommelin, partieron a África y Brasil para observar el eclipse total de Sol y comprobar si se producía la desviación de la luz de las estrellas posteriores prevista por la teoría de Einstein. En Noviembre de 1919 la prensa mundial anunciaba en primera página el éxito de las expediciones y Einstein se convertía en una figura pública mundial. Luego, entre 1920 y 1960, la relatividad general apenas experimentó avances teóricos ni experimentales. A partir de 1960 la situación empezó a cambiar y hacia 1970 se produjo un verdadero renacimiento y florecimiento de la relatividad general, que continúa hasta nuestros días. La publicación en 1973 de los impresionantes libros *Gravitation*, de Misner, Thorne y Wheeler,

y *The Large Scale Structure of Space-Time*, de Hawking y Ellis, testimoniaba del gran progreso teórico acumulado en esos años.

A principios de septiembre de 1974, mientras Torretti iniciaba la elaboración de *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré* en Madrid, en Puerto Rico mismo, en el radiotelescopio de Arecibo, rodeado de colinas boscosas, el estudiante avanzado Russell Hulse estaba analizando sus observaciones de un extraño púlsar (PSR 1913+16) que había detectado el 25 de agosto. Los púlsares son estrellas de neutrones que giran rapidísimamente y actúan como faros, enviando en cada giro un pulso o haz de ondas de radio que captamos con nuestros radiotelescopios; su periodo es casi invariable, por lo que constituyen magníficos relojes naturales. Sin embargo, el periodo del púlsar descubierto por Hulse era aparentemente irregular y pronto se descubrió que se trataba de un púlsar binario, un sistema de dos estrellas de neutrones girando en órbitas elípticas en torno al centro común de masas. Hulse alertó a su profesor, Joseph Taylor, que inmediatamente voló desde Massachusetts a Puerto Rico. Hulse y Taylor fueron capaces de analizar los movimientos y calcular la masa de ambas estrellas, usando la teoría general de la relatividad para inferir los datos que les faltaban. La teoría de Einstein predecía que el pulsar binario perdería energía en forma de radiación gravitacional, con lo que sus componentes estarían cayendo lentamente hacia su centro de masas y su periodo iría aumentando en una minúscula proporción. Calculado ese incremento del periodo con toda precisión, Hulse y Taylor comprobaron que correspondía exactamente a lo observado. Se trataba del primer test de la teoría general de la relatividad fuera del sistema solar, el test más preciso de todos y el más glorioso triunfo de la contrastación experimental de la teoría. Ambos recibirían más tarde el premio Nobel de Física 1993 por su hazaña.

Las teorías especial y general de la relatividad de Einstein constituían una revolución intelectual que no podía dejar indiferente a la filosofía. Ya en 1917 Moritz Schlick publicó *Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik. Zur Einführung in das Verständnis der Relativitäts- und Gravitationstheorie*, en que criticaba la concepción kantiana y mostraba la influencia de las ideas de Poincaré y von Helmholtz. En 1921 Ernst Cassirer publicó *Zur Kritik der Einsteinschen Relativitätstheorie*. El año siguiente Henri Bergson ofreció en *Durée et simultanéité* una réplica mediocre a la relatividad especial, al tiempo que Alfred N. Whitehead presentó en *The Principle of Relativity* una teoría del espaciotiempo alternativa a la de Einstein, pero formulada en función de principios alejados de toda comprobación o aplicación empírica, por lo que no tuvo seguimiento alguno. En 1925 Bertrand Russell escribió *The ABC of relativity*, básicamente una obra de divulgación. Todas estas obras constituían aproximaciones filosóficas un tanto superficiales e insuficientes a las teorías de Einstein. El primer análisis filosófico serio de las teorías de la relatividad fue el llevado a cabo por Hans Reichenbach en *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre* (1928), publicado en inglés como *The Philosophy of Space & Time* (1958). Adolf Grünbaum profundizó ese análisis en *Philosophical Problems of Space and Time* (1963, <sup>2</sup>1973). De su alumno Bas van Fraassen apareció en 1970 *An Introduction to the Philosophy of Time and Space*. Y Lawrence Sklar publicó en 1974 *Space, Time, and*

*Spacetime*. Estas últimas obras citadas constituían ya una respuesta filosófica mucho más profunda, pero no se proponían un estudio histórico pormenorizado de las fuentes ni entraban en los detalles finos de las matemáticas subyacentes. También en este campo fue Torretti pionero.

En mayo de 1976 Torretti ya había terminado su libro sobre la geometría del siglo XIX, pensado como primer volumen de una obra en dos, titulada *Modern Philosophy of Geometry 1850-1950*, aunque finalmente publicado por Reidel en 1978 como libro independiente. En el prefacio Torretti indica que “la filosofía de la geometría de Einstein y sus contemporáneos será el tema de otro libro”. En efecto, entre 1979 y 1980 escribió su famosa obra *Relativity and Geometry*, publicada en 1983 y reeditada con correcciones en la prestigiosa serie de libros clásicos de Dover en 1996. La gran competencia y profundidad histórica, filosófica y matemática de este libro convirtieron de inmediato a Torretti en un clásico viviente de la filosofía de la ciencia y del espaciotiempo. En ese mismo año 1983 Michael Friedman publicó su *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and the Philosophy of Science*, en que llega también a conclusiones parecidas a las de Torretti. Posteriormente el enfoque histórico se vio facilitado por la edición de las obras completas de Einstein a cargo de John Stachel y otros. El rigor matemático en la discusión de los problemas filosóficos implicados en la relatividad fue luego practicado por otros filósofos de la ciencia, como John Earman y David Malament.

En 1982 Roberto y Carla se mudaron a un piso alto de Isla Verde (junto a San Juan), desde el que se divisa el espejo esmeralda del Océano Atlántico, reverberante de luz y solo rayado por la espuma de la rompiente. Allí, y tras su jubilación en Santiago de Chile, Torretti ha seguido reflexionando y escribiendo artículos sagaces y bien documentados sobre el espaciotiempo, la geometría y la relatividad, algunos de los cuales ha recogido en sus libros *La geometría del Universo y otros ensayos de filosofía natural* (1994) y *Relatividad y espaciotiempo* (2003). Desgraciadamente las modestas plataformas editoriales que ha elegido para su publicación difícilmente le proporcionarán la amplia difusión que merecen. De todos modos, aunque aquí me refiero solo a su faceta como filósofo de la geometría y la relatividad, no hay que olvidar que Torretti es un gran filósofo en general, probablemente el mejor filósofo hispanico de su generación, como Mario Bunge y José Ferrater Mora lo fueron de las generaciones precedentes.

El libro *Relatividad y espaciotiempo* consta de seis capítulos, un apéndice matemático que contiene las definiciones precisas de las nociones matemáticas empleadas en la teoría general de la relatividad (como variedad diferenciable, tensor o métrica) y tres suplementos sobre temas puntuales, como la paradoja de los mellizos en relatividad especial.

Los tres primeros capítulos tratan de las teorías especial y general de la relatividad. Torretti señala el carácter desafortunado de los nombres que Einstein dio a sus teorías. Ya Minkowski prefería hablar de absolutidad más bien que de relatividad (especial). En efecto, se rechazan las regularidades relativas a un marco inercial parti-

cular y se buscan las leyes físicas absolutas en el sentido de invariantes respecto a cambios de marco inercial, válidas en todos los marcos inerciales. Torretti propone acertadamente llamar teoría local y teoría global del espaciotiempo a la relatividad especial y a la general.

El primer capítulo, "Relatividad y espaciotiempo", que da su título al libro, describe la concepción newtoniana del espacio y el tiempo, los cambios introducidos por la relatividad especial, el espaciotiempo de Minkowski y la teoría de la gravitación como curvatura del espaciotiempo en la relatividad general. Desde un punto de vista histórico, Torretti nos recuerda la mezcla de incompreensión y hostilidad con que Einstein recibió las ideas de Minkowski, que proporcionaban una base matemática más fecunda y elegante a su propia teoría especial. Dos observaciones de Torretti ponen el dedo en la llaga: La búsqueda de la covariancia general, a la que Einstein concedía tanta importancia, ha quedado trivializada por el uso de tensores, ya que la mera formulación tensorial de las leyes físicas ya garantiza de entrada su covariancia. Y la esperanza einsteiniana de extender la relatividad a los marcos de referencia en movimiento acelerado no se ha cumplido.

El texto es siempre claro, aunque no acabo de entender lo se nos dice en la página 15 de que los movimientos uniformes en el sentido de la primera ley del movimiento de Newton constituyan relojes naturales. La noción de reloj parece implicar algún tipo de cambio cíclico, cuyos ciclos son precisamente las unidades con que medimos el tiempo. No veo que un movimiento rectilíneo uniforme contenga ciclos. En la página siguiente, la escala inercial de tiempo de Carl Neumann no parece nada operativa, por lo que no entiendo que "un observador que viaje con una partícula libre puede utilizar hitos equidistantes en su camino para determinar, conforme a la escala inercial del tiempo, la hora en que pasa frente a cada uno de ellos..." El espacio vacío que atraviesa la partícula libre no está balizado con hitos. Desde luego, no hay que atribuir a Torretti las ideas de Neumann, referidas en el libro para mostrar que, incluso concediéndolas, no resuelven el problema de la simultaneidad a distancia.

El segundo capítulo, "El orden del tiempo", trata del problema de la simultaneidad y la sucesión entre eventos lejanos en el espacio, que expone con finura. También se refiere a la posibilidad del tiempo cíclico (de bucles en las curvas temporales) suscitada por Kurt Gödel, que encontró soluciones exactas a las ecuaciones de campo de Einstein en que tales bucles son posibles. Aunque Gödel sabía que sus soluciones contradicen a los datos empíricos y no constituyen un modelo admisible del mundo, pretendía sacar de ahí consecuencias sobre la presunta idealidad del tiempo. Como señala Torretti, no hay el menor indicio de que haya curvas temporales cerradas en el mundo real, y difícilmente pueden sacarse conclusiones sobre el mundo real a partir de un modelo que no lo modeliza.

El capítulo 3, "Gravedad y curvatura", es una exposición magistral de la gravedad como curvatura del espaciotiempo en la relatividad general. Al final del capítulo Torretti nos informa de una propuesta más o menos lúdica de Richard Feynman

(que la pone en boca de los científicos de Venus) de construir directamente una teoría cuántica del campo gravitatorio sobre el espaciotiempo de Minkowski mediante las técnicas habituales en la teoría cuántica de campos. Parece una idea fascinante, pero que pocos se han tomado en serio. ¿Por qué? Puesto que los modelos cosmológicos que excluye (los cerrados) no parecen aplicables al espaciotiempo cósmico y puesto que admite tanto los que parecen cumplirse a escala cósmica (los abiertos o planos) como los que sirven para dar soporte empírico a la relatividad (como la solución de Schwarzschild), ¿qué se puede decir en su contra?

Los capítulos 4 y 5 están dedicados a la cosmología. El 4, "Modelos del mundo", subraya la originalidad, audacia y problematicidad del intento de Einstein en 1917 de aplicar la teoría general de la relatividad al Universo entero, construyendo el primer modelo cosmológico. Históricamente es de nuevo curiosa y lamentable la incompreensión e injusticia de Einstein respecto a la propuesta por Alexander Friedmann del primer modelo cosmológico de un universo dinámico, que sigue siendo la base del modelo cosmológico estándar. En este capítulo Torretti hace suya la opinión de Pauri de que el Universo como un todo no puede constituir un objeto científico. "No sin resistencia, he llegado paulatinamente a creer que Pauri tiene toda la razón. ... Esto no es más que una corazonada mía ..." (p. 99). A continuación, expone algunos motivos para su escepticismo. Uno es la dificultad de compaginar la solución de Schwarzschild, usada para la confirmación empírica de la teoría general de la relatividad, con la completamente diferente métrica de Friedmann-Robertson-Walker, en que se basa el modelo cosmológico estándar. Otro es el carácter puramente especulativo de gran parte de la cosmología inflacionaria, y en especial de la versión de inflación eterna debida a Andrei Linde y que Torretti y yo encontramos difícil de tragar. Como cuestión lateral, no sé si puede decirse que la radiación cósmica de fondo "es un vestigio de las reacciones nucleares que generaron la abundancia actual de elementos livianos más pesados que el hidrógeno" (p. 99). Más bien parece deberse al desacoplamiento de la materia y la radiación unos 300.000 años más tarde.

El capítulo 5, "Los universos de Friedmann: derivando la geometría", es una exposición precisa e iluminadora de los modelos cosmológicos iniciales, debidos a Schwarzschild, Einstein, de Sitter y Friedmann, con especial detenimiento en este último, como es lógico por su importancia en la cosmología actual. El lector empezará a sudar a partir de la página 122, por la acumulación de detalles matemáticos no siempre fáciles de digerir.

Quizá sea este el lugar apropiado para referirme a un asunto trivial, pero a veces irritante para el sufrido lector de textos relativistas, como es la cuestión de las convenciones sobre los signos, el tensor de Ricci, la signatura, el elemento de línea, etc. En los últimos 30 años casi todos los autores se han puesto de acuerdo en seguir ciertas convenciones, que en algún punto difieren de las de Einstein. Una de las razones por la que los relativistas y cosmólogos han cambiado la convención sobre los signos es para evitar la situación embarazosa de que la restricción de la métrica del espaciotiempo a una hipersuperficie espacialoide no sea directamente la métrica rie-

manniana (propiamente tal, que diría Torretti, es decir, positiva definida) de esa hipersuperficie, sino que haya que cambiarla farragosamente de signo, como ocurre en las páginas 122-123. Torretti y yo seguimos esas nuevas convenciones en nuestro reciente *Diccionario de Lógica y Filosofía de la Ciencia* (2002), del que Torretti mismo escribe en el prólogo que “con suerte, podría contribuir a regularizar ... el uso de quienes escriben sobre estas materias en castellano.” Desde luego, el atenerse reverentemente a las convenciones originales de Einstein es una actitud digna de respeto, pero tampoco es que Torretti lo haga siempre. A veces actualiza la terminología de Einstein, como en el uso de  $c$  en vez de  $V$  para la velocidad de la luz en la página 49, o incluso en el cambio total de las convenciones de Einstein sobre los índices (griegos o latinos) 4- y 3-dimensionales. Puestos a cambiar, ¿por qué no adoptar de una vez las convenciones actuales? Lo mismo podría decirse del uso (en las páginas 123-136) de la letra  $S$  para el factor de escala, en vez de  $a$ , que es ahora lo habitual.

El texto es muy cuidado, con pocos descuidos y erratas. Parece haber una contradicción entre lo que se dice en la página 107, líneas 6-8, y lo afirmado en las tres últimas líneas de la página 106. En la página 30, línea 4 por abajo,  $\neq$  debe ser  $=$ . En la página 44, línea 3, la matriz referida como (17) es la (16). En la página 63, línea 18,  $T$  debe ser  $-T$ .

En el plano estilístico, el castellano de Torretti es elegante y eficaz, aunque a veces se le escapan anglicismos en la traducción del inglés, como “ha durado por [lasted for] un tiempo infinito” (página 63) en vez de que ha durado un tiempo infinito, o incluso la errata de “and” por y (página 142). A mí me llama la atención la constante repetición de la coletilla “por cierto” en el texto de Torretti, aunque parece que es habitual en el habla coloquial de Puerto Rico.

En octubre de 2001 participé, junto a eminentes colegas como Michael Friedman y John Norton, en el simposio de homenaje a Roberto Torretti y Carla Cordua, organizado por la Universidad de Puerto Rico. Aproveché mi estancia para hacer turismo científico. Estuve en el campus de Río Piedras y localicé con ayuda de Roberto el apartamento de Isla Verde donde pasó sus últimos años antes de regresar a Chile. El único día que tuve libre alquilé un carro y fui a visitar el radiotelescopio de Arecibo, con sus 300 metros de diámetro, en el que la teoría general de la relatividad había tenido su más brillante confirmación. Celebro que la aventura intelectual emprendida por Torretti en Puerto Rico continúe ahora en Chile de forma vigorosa. Su último libro, como todos los suyos, me ha incitado e instruido y me ha proporcionado momentos de placer y alguno que otro de transpiración. Los lectores interesados por la filosofía de la geometría, por el espaciotiempo, la relatividad o la cosmología, difícilmente hallarán una guía tan fiable o una exposición tan clara y competente como la que nos ofrece Torretti.

JESÚS MOSTERÍN