

ESPACIO, TIEMPO E IRREVERSIBILIDAD

PROBLEMAS FILOSÓFICOS DE LA ASTROFÍSICA CONTEMPORÁNEA

GUSTAVO E. ROMERO

La filosofía científica es filosofía informada por la ciencia, que usa herramientas exactas como la lógica y la matemática, y proporciona a la actividad científica un marco donde dirimir las cuestiones más generales sobre la naturaleza, el lenguaje que usamos para describirla y el conocimiento que de ella obtenemos. Muchas teorías de la filosofía científica pueden ser contrastadas y evaluadas utilizando evidencia científica. En este artículo me concentro en mostrar cómo algunos temas clásicos de la filosofía, como el de la naturaleza del espacio y el tiempo o la dimensionalidad del mundo, pueden ser abordados filosóficamente con herramientas provenientes de la investigación en astrofísica actual y, en particular, del estudio de los agujeros negros y las ondas gravitacionales.

Palabras clave: ontología, espacio-tiempo, epistemología, agujeros negros, ondas gravitacionales.

■ FILOSOFÍA CIENTÍFICA

El físico austríaco Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) entendió que la función de la filosofía en la era científica es resolver los problemas más generales que se plantean en el estudio de la naturaleza y, a partir de sus soluciones, proporcionar a la ciencia un marco y un fundamento que le permita resolver de forma eficiente los problemas específicos. La filosofía, pues, no puede ser una actividad desligada de la ciencia sino que debe realimentarse con esta, cambiar con esta y servir siempre para proporcionar una mejor comprensión de los problemas científicos. Una filosofía que cumpla esas funciones puede llamarse «filosofía científica». La visión de Boltzmann de una filosofía científica –esto es, de una filosofía que se ocupe de problemas generales comunes a todas las ciencias, una filosofía que esté informada por la ciencia y sirva a la investigación científica– comenzó a desarrollarse en el siglo xx por medio de filósofos con fuerte formación en ciencias como Bertrand Russell (matemático y lógico), Moritz Schlick (físico), Hans Reichenbach (físico y lógico), Rudolf Carnap (lógico y semántico), Hans Hahn (matemático), Otto

Neurath (sociólogo), Willard Van Orman Quine (lógico), Mario Bunge (filósofo y físico) y Nicholas Rescher (filósofo) (véase, por ejemplo, Bunge, 1974-1989; Reichenbach, 1977; Rescher, 2001; Ferrater-Mora, 1994).

La filosofía científica hoy está representada por una gran cantidad de filósofos profesionales con seria formación científica que tratan problemas relacionados con la física, la biología, las matemáticas, las ciencias sociales y, también, temas de carácter general.

Nuevos problemas filosóficos aparecen con el avance de la ciencia (por ejemplo, antes de las investigaciones de Albert Einstein y Hermann Minkowski, la problemática sobre la naturaleza del espacio-tiempo no existía) y otros desaparecen (los avances de las neurociencias han vuelto los problemas relacionados con sustancias mentales irrelevantes o, peor aún, han mostrado que son pseudoproblemas). La filosofía científica evoluciona con la ciencia y la ciencia usa conceptos filosóficos.

Cada ciencia específica puede ayudar a poner a prueba ciertas teorías filosóficas. Por ejemplo, conjeturas filosóficas acerca de la incidencia de patrones de simetría visual en la experiencia estética pueden evaluarse por medio de estudios no invasivos de la activi-

**«LA FILOSOFÍA NO PUEDE
SER UNA ACTIVIDAD
DESLIGADA DE LA
CIENCIA SINO QUE DEBE
REALIMENTARSE CON
ESTA, CAMBIAR CON ESTA
Y SERVIR SIEMPRE PARA
PROPORCIONAR UNA MEJOR
COMPRESIÓN DE LOS
PROBLEMAS CIENTÍFICOS»**



Museo del Prado

Los seres humanos envejecen y mueren, lo que queda expresado científicamente en la segunda ley de la termodinámica. Cada ciencia específica puede ayudarnos a poner a prueba ciertas teorías filosóficas. En la imagen, *Las edades y la muerte* (1541-1544) de Hans Baldung Grien (óleo sobre tabla, 61×151 cm).

dad del cerebro de individuos expuestos a ciertas obras artísticas con patrones definidos, en experimentos con adecuados controles de errores.

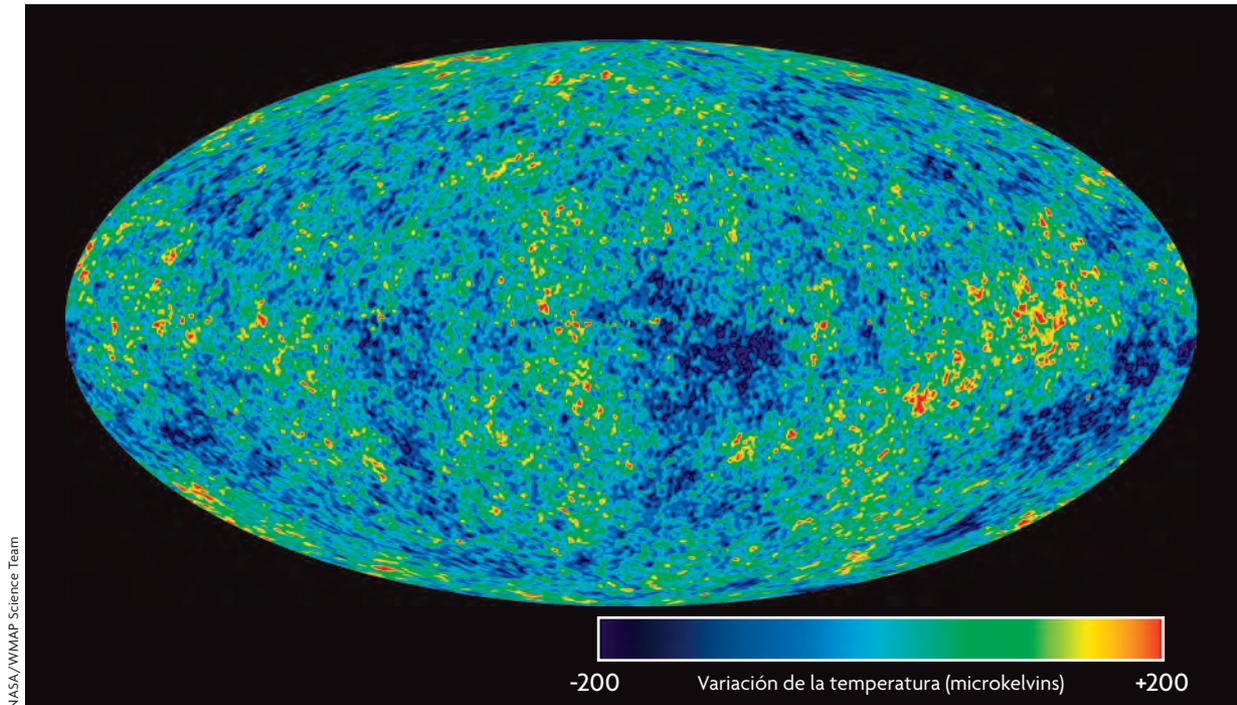
Las ciencias físicas, y en particular la astrofísica, están en condiciones de ayudar a contrastar muchas ideas filosóficas en el campo de la ontología. A continuación discutiré algunos de estos asuntos a la luz de la astrofísica actual.

■ LA NATURALEZA DE LA IRREVERSIBILIDAD

Es un hecho que las cosas envejecen, se rompen, decaen. Envejecemos y morimos. Este hecho se expresa científicamente en la segunda ley de la termodinámica. Esta ley puede enunciarse de varias formas. Una de ellas, debida a Boltzmann (1974), dice que cualquier operación física sobre un sistema «no ideal» resultará en un aumento de su entropía. La entropía crecerá hasta llegar a su máximo valor posible. Cuando eso ocurra, el sistema estará en equilibrio termodinámico: ya no cambiará. No hará trabajo. Nada más sucederá. En nuestro caso, llegar al equilibrio termodinámico es morir: cuando nuestro cuerpo llegue a una temperatura uniforme, y esa temperatura sea la misma que la del cuarto en el que nos encontramos, entonces ese cuarto contendrá nuestro cadáver.

¿Qué es esta entropía de la que habla Boltzmann? Supongamos que tenemos un sistema constituido por muchos componentes, como un gas que está formado por muchos átomos, o nuestro cuerpo, compuesto por muchas células, o el universo, conformado por muchas galaxias. Cada uno de los componentes puede estar, en principio, en muchos estados. Una molécula, por ejemplo, puede tener diferentes velocidades. No todos esos estados serán igualmente probables. Algunos son más probables que otros. La entropía es una medida de la distribución de probabilidades de los estados del sistema. Si todos los componentes del sistema están en su estado más probable, el sistema ya no cambia (cualquier otra configuración sería menos probable), y la entropía es máxima. A ese estado de máxima probabilidad lo llamamos «equilibrio termodinámico».

Obviamente, el mundo no está en equilibrio termodinámico. Usted lee este artículo, por lo que algo debe estar cambiando en su cerebro. Su cuarto está lleno de sonidos y su vida, de eventos. ¿Por qué el mundo no está ya en equilibrio termodinámico? ¿Por qué la entropía no ha alcanzado su máximo aún? La respuesta usual a estas preguntas es que el mundo, el sistema de todas las cosas, lo que llamamos «universo», comenzó hace un tiempo finito y lo hizo en un estado de mínima entropía. A esto se le llama «hipótesis del pasado». Es una hipótesis que parece obvia, pero también insatis-



Las mediciones del fondo cósmico de radiación muestran cómo la radiación producida en el universo temprano estaba en perfecto equilibrio térmico. ¿Cómo es posible entonces que hoy el mundo esté fuera de equilibrio? En la imagen, mapa de radiación cósmica de fondo obtenido por el satélite WMAP.

factoria. ¿Por qué esa condición inicial? Hay filósofos que dicen que no tiene sentido preguntarse eso. Sería un «hecho bruto», algo que no puede ser explicado en función de otros hechos, porque no hay precedentes.

Confieso que descreo de los hechos brutos. Todos los hechos que conocemos son legales: están sometidos a leyes, patrones regulares de ocurrencia de sucesos. La ciencia, su función fundamental, consiste en encontrar esos patrones regulares, a los que llamamos «leyes», y en exponer los mecanismos (cadenas de procesos legales) por los que ocurren los diferentes sucesos. Decir que un hecho es «bruto» es admitir la magia. Es renunciar al ideal científico. Pienso que podemos hacerlo mejor que bajando los brazos. Boltzmann, por ejemplo, no bajó los brazos. Conjeturó que el universo, en general, está en equilibrio termodinámico, pero aquí y allá, cada incontables eones (si es que el tiempo tiene sentido en ausencia de cambios) una fluctuación estadística, altamente improbable pero no imposible, ocurre. Entonces, una parte del universo, que en general está muerto, disminuye su entropía y algunos eventos (la historia del mundo) ocurren. Es una idea bonita. *Alas!* Como mostró Arthur Eddington en los años 1930, la probabilidad de que eso

**«LA FILOSOFÍA CIENTÍFICA
EVOLUCIONA CON LA
CIENCIA Y LA CIENCIA USA
CONCEPTOS FILOSÓFICOS»**

pase es incomparablemente menor que de una fluctuación estadística surja usted, el lector, con este artículo en las manos y vuelva a desaparecer después de leerlo. La explicación de por qué la entropía aumenta debe ser más sutil y compleja, sin duda, que una mera fluctuación.

El problema se agrava por los descubrimientos recientes realizados en astrofísica y cosmología. Observaciones astronómicas muestran que el universo se expande (de hecho, parece incluso expandirse en forma acelerada). Eso significa que en el pasado fue más denso, y por tanto más caliente que ahora. Cuando la temperatura media del universo era de algunos miles de grados, la materia estaba en un estado llamado «plasma». En ese estado, los electrones están separados de los núcleos de los átomos. Unos 380.000 años después del comienzo de la etapa de expansión del universo que observamos, la temperatura cayó por debajo del valor en el cual los átomos de hidrógeno permanecen ionizados (sin su electrón). El resultado fue que los electrones fueron capturados por los protones, se formó hidrógeno neutro y los fotones, que hasta entonces eran absorbidos en el plasma, pudieron escapar. Hoy podemos observar

esos fotones que conforman una radiación universal que llega de todas direcciones. Esa radiación es llamada «fondo cósmico de radiación». Ha sido medida con precisión exquisita por satélites como COBE, WMAP y, recientemente, por el satélite Planck de la Agencia Espacial Europea. Esas mediciones muestran que la radiación producida en todo el universo temprano estaba en perfecto equilibrio térmico: ¡el gas que la produjo tenía una distribución de partículas exactamente igual a la que corresponde a un sistema con máxima entropía! ¿Cómo es posible entonces que hoy el mundo esté fuera de equilibrio? ¿Por qué la entropía sigue aumentando si está en su máximo valor posible?

La respuesta a estas preguntas solo puede ser que, en realidad, la entropía no estaba realmente en su máximo cuando el universo se hizo transparente a su propia radiación. Debería haber un componente de entropía baja que no aparece en nuestras observaciones. O, si aparece, no la estamos reconociendo. Ese componente es la entropía de la gravitación. El estado de equilibrio de un sistema gravitacional es el colapso, ya que la gravedad es una fuerza atractiva. El que un objeto colapse significa que llegará a ser lo más compacto que pueda ser. Sin embargo, en el universo primitivo, cuando se produjo la radiación cósmica de fondo, prácticamente no había estructura. No había estrellas, ni galaxias, ni cúmulos de galaxias. Solo un gas extremadamente homogéneo. La entropía asociada a la gravitación de ese gas era en extremo baja. A medida que el gas fue colapsando y formando estructura, la estructura conocida del universo, la entropía total, la de la gravitación más la de la materia, fue aumentando. Y ha seguido creciendo hasta hoy.

Esta solución al problema plantea dos nuevos interrogantes: ¿cómo es posible que la gravitación tenga entropía? Y ¿por qué la entropía de la gravitación era tan baja hace 13.800 millones de años? La primera pregunta solo admite una respuesta: la gravitación debe tener estructura interna. Y esa estructura interna es la que le da los grados de libertad necesarios para definir la entropía. No sabemos cómo es esa estructura. Pero comenzamos a sospecharlo y nuestras conjeturas tratan de articularse en una teoría cuántica de la gravitación, de la que trataré más adelante.

La segunda pregunta requiere explicar las condiciones del universo hace casi 14.000 millones de años ¿Qué mecanismo pudo poner al universo en ese estado, sin estructura? Una forma de lograr que algo inhomogéneo se transforme en homogéneo es comprimirlo, unir todos los componentes, y luego hacer que se expanda isotrópicamente. Eso podría haber sucedido si el universo no comenzó hace 13.800 millones de años, sino que lo que sucedió allí fue el comienzo de una fase



MÉTODO

Gottfried W. Leibniz e Isaac Newton polemizaron sobre la naturaleza del espacio y el tiempo en el siglo XVII. Arriba, a la izquierda, Isaac Newton, retratado por Godfrey Kneller en 1689. A la derecha, retrato de Gottfried Leibniz en un cuadro de Christoph Bernhard-Francke pintado hacia 1700.

**«SI EL ESPACIO NO ES UNA ENTIDAD
FÍSICA COMO PENSABA NEWTON,
¿QUÉ ES ENTONCES? LEIBNIZ RESPONDE:
ES UN SISTEMA DE RELACIONES ENTRE
LAS COSAS»**



de expansión después de una contracción que destruyó la estructura existente. En otras palabras, el universo se contrajo, «rebotó» y volvió a expandirse. Al hacerlo, regeneró la entropía de su campo gravitacional. Ciertamente, esto requiere condiciones muy específicas para el comportamiento termodinámico de la gravedad a grandes densidades (Novello y Perez-Bergliaffa, 2008). ¿Es posible contrastar científicamente estas ideas? Sorprendentemente, la respuesta es «sí».

El rebote del universo implica el movimiento de grandes masas, lo cual generó ondas gravitacionales. Esas ondas son muy débiles para ser detectadas hoy en día. Sin embargo, dejaron su marca en la polarización de la radiación cósmica de fondo. Son los llamados «modos B de polarización», que se caracterizan por un efecto de rotación de las líneas de polarización. Este efecto se debió a las distorsiones en las direcciones de oscilación de las cargas eléctricas que produjeron la radiación en el universo temprano. Esos modos de

polarización B, si existen, podrán ser detectados en el futuro cercano por telescopios submilimétricos (Stolpovskiy, 2016). De las medidas de la intensidad y forma de esa polarización se podrán someter a prueba los modelos de rebote para el comienzo de la expansión del universo. También se podrá evaluar la hipótesis de que en los primeros instantes de la expansión, esta fue exponencial (modelos inflacionarios).

He tratado de mostrar en esta sección que la astrofísica y la cosmología contemporáneas han aportado mucho a resolver una cuestión planteada por la filosofía científica: ¿por qué los procesos del mundo son irreversibles, si la representación matemática de sus leyes es reversible? La respuesta es que el estado del mundo no es determinado solo por las leyes, sino por las leyes y las condiciones iniciales en las que las leyes se aplican. Vivimos hoy a costa de la baja entropía del campo gravitacional. En última instancia, todo cambio es posible porque el campo gravitacional no está en un estado de colapso aún. En el universo temprano, parece que existieron mecanismos naturales que permitieron que la gravitación regenere su entropía. Establecer cómo sucedió esto es una cuestión más científica que filosófica (Romero y Pérez, 2011).

■ ¿EXISTEN EL ESPACIO Y EL TIEMPO?

Como se sabe, Gottfried W. Leibniz e Isaac Newton polemizaron sobre la naturaleza del espacio y el tiempo en el siglo XVII. La polémica se desarrolló con mediación de Samuel Clarke, quien ofició de representante de las ideas newtonianas. Leibniz sostenía que el espacio y el tiempo no son entidades en sí mismos; esto es, no existen en ausencia de objetos que cambien. Para Leibniz, el espacio es solo un sistema de relaciones espaciales entre objetos, y el tiempo, una relación entre objetos que cambian. Si nada cambiara, pensó Leibniz, no habría tiempo. Si existiese una sola cosa sin partes, no habría espacio. Para Newton, en cambio, el espacio y el tiempo eran entidades reales, como las mesas o los planetas. Sin embargo, a diferencia de estos, no están afectados por su interacción con los demás objetos del universo.

Leibniz desarrolló un ingenioso argumento contra Newton basado en su principio de identidad de los indiscernibles (si dos supuestos objetos son idénticos en cada aspecto, incluidos los relacionales, entonces se trata del mismo objeto). El argumento es el siguiente: imaginemos dos universos conformados por exactamente los mismos objetos relacionados de la misma manera, pero localizados en diferentes posiciones del espacio. Si el espacio es una cosa, las relaciones de estos objetos respecto del espacio serán diferentes y los

dos universos serán diferentes. Sin embargo, no hay ninguna propiedad del conjunto espacio + objetos que nos permita diferenciar entre ambos universos. Luego, por el principio de identidad de los indiscernibles, ambos universos son el mismo. Como los universos no pueden ser el mismo y a la vez diferentes, una de las hipótesis debe ser rechazada: 1) El espacio es una cosa; o 2) El principio de identidad de los indiscernibles. Leibniz pensaba que tenemos razones para afirmar la segunda hipótesis, por lo que la primera es falsa.

Si el espacio no es una entidad física como pensaba Newton, ¿qué es entonces? Leibniz responde: es un sistema de relaciones entre las cosas. No hay espacio, hay relaciones espaciales entre los existentes. Si no hubiese cosas, no habría espacio. Si no hubiese cambios, no habría tiempo. Newton estaba en desacuerdo. Para mostrar que el espacio es algo, propuso su famoso experimento del balde con agua sujeto por una soga al techo. Hagámoslo girar sobre sí mismo, enroscando la cuerda. Al dejar el sistema libre, el balde comenzará a girar. Al principio el agua estará en reposo. Luego, el balde irá transmitiendo su movimiento de rotación al agua por fricción y esta adquirirá momento angular. A medida que este aumente, la superficie del agua se transformará en un paraboloides debido a las fuerzas centrífugas. Si detenemos el balde, el agua continuará rotando y manteniendo su superficie parabólica hasta que el rozamiento la vuelva al reposo. ¿Respecto a qué está acelerada el agua? No puede serlo respecto al balde, ya que la superficie es parabólica cuando este rota y cuando no lo hace. Newton responde que debe estar acelerada respecto al espacio absoluto. Luego el espacio absoluto es «algo». Tiene entidad ontológica. Nada puede acelerarse respecto de lo que no existe.

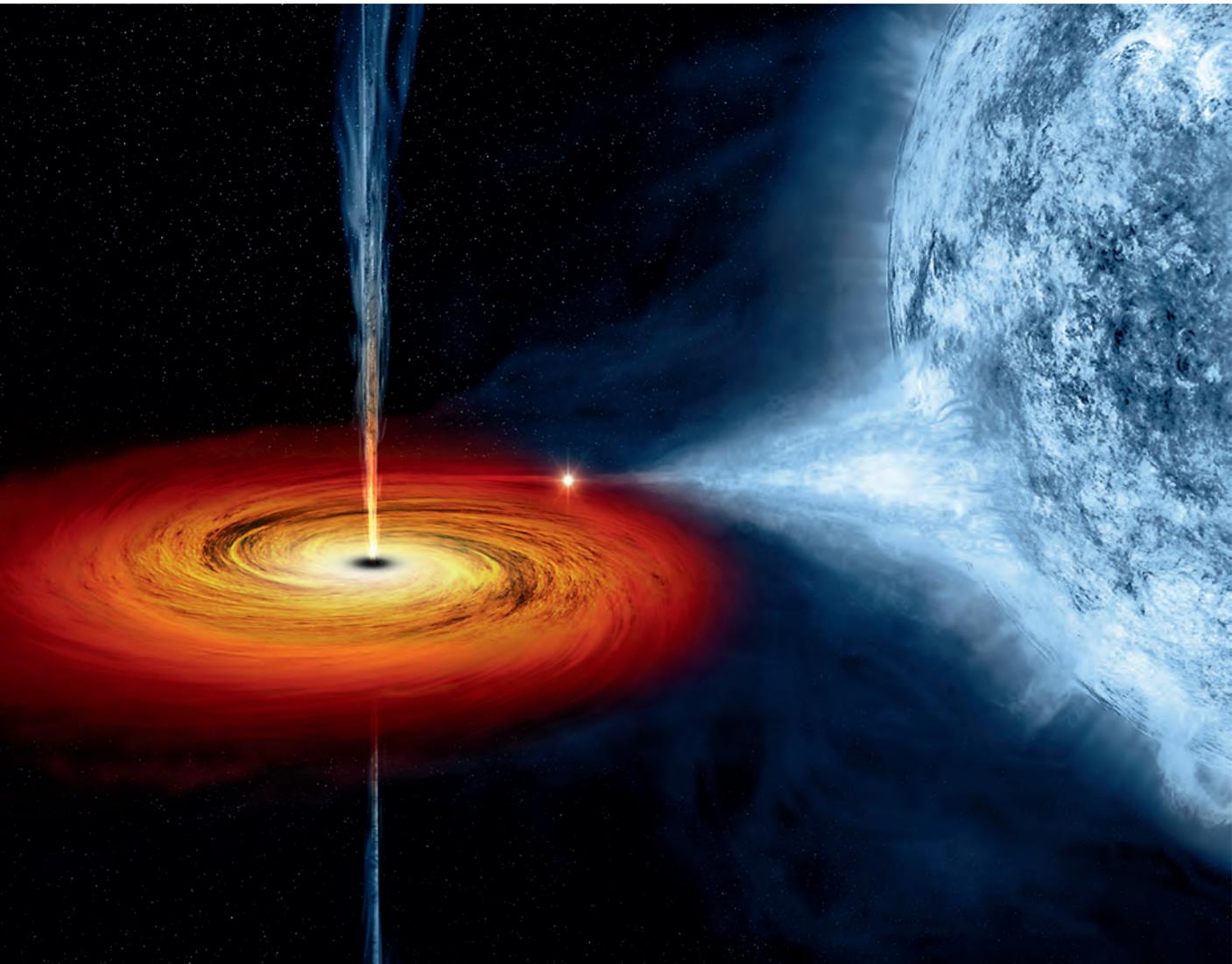
Lamentablemente, Leibniz murió en pleno debate y jamás pudo responder a este argumento. Pero Ernst Mach respondió en el siglo XIX: afirmó que el agua se acelera respecto a «las estrellas distantes», esto es, respecto al promedio del resto de la masa del universo. En el siglo XX, Einstein creyó poder explicar la naturaleza de la inercia y el principio de Mach por medio de su teoría general de la relatividad. Einstein mostró que gravitación e inercia son dos aspectos de un mismo campo gravitoinercial y creyó que su teoría no podía admitir soluciones donde no hubiese objetos materiales. Pensó que no podían existir el espacio y el tiempo sin materia.

**«LAS CIENCIAS FÍSICAS,
Y EN PARTICULAR LA
ASTROFÍSICA, ESTÁN EN
CONDICIONES DE AYUDAR
A CONTRASTAR MUCHAS
IDEAS FILOSÓFICAS EN EL
CAMPO DE LA ONTOLOGÍA»**

En 1917, el astrónomo holandés Willem de Sitter obtuvo una solución dinámica de las ecuaciones de Einstein que representa un universo sin materia, pero con espacio y tiempo. Al principio, Einstein fue escéptico pero luego terminó admitiendo que su teoría no permitía explicar el principio de Mach. Peor aún, su teoría representaba el campo gravitoinercial con un campo métrico, que sirve para determinar las distancias en un objeto de cuatro dimensiones llamado «espacio-tiempo». El espacio-tiempo es el sistema de todos los sucesos. Todo lo que ocurrió, ocurre o ocurrirá es parte de ese sistema. Lo que llamamos espacio no es otra cosa que cortes en esa entidad a lo largo de una dimensión que llamamos tiempo. El espacio-tiempo, en su conjunto, sin embargo, no cambia ni puede cambiar; no hay respecto a qué pueda cambiar: incluye el tiempo (Romero, 2012; 2013a; 2013b).

¿Es el espacio-tiempo una entidad? ¿Existe realmente? Estas cuestiones parecen ser de naturaleza puramente filosófica y, sin embargo, podemos vislumbrar argumentos acerca de ellas basados en la astrofísica contemporánea.

Hace tiempo que los agujeros negros han dejado de ser objetos exóticos cuya existencia es predicha sobre las bases de la teoría general de la relatividad para llegar a convertirse en parte esencial de nuestra descripción del universo. ¿Qué son estos agujeros negros que parecen ser tan abundantes en el universo? Son lo que queda de sistemas físicos (estrellas, nubes de materia oscura) que han colapsado bajo su propio campo gravitacional. La gravedad es esencialmente una fuerza atractiva a escalas pequeñas. Cuando un objeto es muy masivo, la atracción gravitacional de su propia materia tiende a volverlo más y más compacto. Si el sistema es estable es porque alguna fuerza interna se opone a la de la gravitación. Esta fuerza es la que genera la estructura interna del sistema. Si el objeto es suficientemente pesado y la energía interna se agota, el objeto puede hundirse bajo su propio peso. Al hacerlo, arrastra consigo el espacio-tiempo, que se curva de tal manera que todos los eventos interiores a una cierta superficie se vuelven indetectables desde el exterior. A esa superficie se la llama «horizonte de eventos». Es una región del espacio-tiempo que divide a este en dos partes, la interior o «agujero negro» y la exterior o «resto del universo», donde existimos nosotros. El agujero negro, pues, está formado por espacio-tiempo, curvado de manera tal que el interior no puede ponerse en contacto con el exterior.



El agujero negro está formado por espacio-tiempo, curvado de manera tal que el interior no puede ponerse en contacto con el exterior. La existencia de agujeros negros tiene importantes consecuencias filosóficas. En la imagen, representación artística de un agujero negro devorando una estrella con la que forma un sistema binario.

**«LA EXISTENCIA DE LOS AGUJEROS
NEGROS TIENE IMPORTANTES
CONSECUENCIAS FILOSÓFICAS PARA
VIEJAS DISPUTAS DE CARÁCTER
METAFÍSICO»**

El horizonte de eventos no es algo diferente de una región de espacio-tiempo. Sin embargo, tiene propiedades físicas definidas. En particular, puede asignársele una temperatura y una entropía. De hecho, cuando algo cae al agujero negro –cuando algo cruza su horizonte de eventos– la entropía del horizonte aumenta. Podemos entonces proponer los siguientes argumentos para mostrar la realidad del espacio-tiempo (Romero, 2015b):

- P1. Solo entidades existentes se pueden calentar.
 - P2. El espacio-tiempo se puede calentar.
- Entonces, el espacio-tiempo es una entidad existente.

La premisa P1 es verdadera. Calentar es transmitir calor a un sistema físico. Ello eleva la temperatura del sistema. Esa operación solo puede ser realizada sobre sistemas físicos y no sobre ficciones o relaciones entre sistemas físicos. P2 es también verdadera a la luz de la física relativista: el horizonte de eventos de un agujero

negro tiene temperatura que cambia cuando algo cae en él. Si podemos calentar el horizonte, es porque lo que se calienta es el espacio-tiempo. Luego, ese espacio-tiempo existe.

Alternativamente:

P1. El espacio-tiempo tiene entropía.

P2. Solo lo que tiene una microestructura tiene entropía.

Entonces, el espacio-tiempo tiene una microestructura.

P3. Solo aquello que existe tiene microestructura.

Luego, el espacio-tiempo existe.

P1 es verdadero por ser el horizonte de eventos de los agujeros negros una región del espacio-tiempo con entropía. La entropía mide el número de microestados accesibles a un sistema macroscópico y de allí se infiere que la entropía solo se puede asignar a sistemas físicos con microestructura. De ello se concluye que el espacio-tiempo es una entidad existente y no un mero sistema de relaciones.

Vemos, pues, que la existencia de los agujeros negros tiene importantes consecuencias filosóficas para viejas disputas de carácter metafísico. La astrofísica, al sondear los aspectos más extremos de la realidad, puede usarse para poner a prueba ideas ontológicas.

■ LA DIMENSIONALIDAD DEL MUNDO

¿Cuántas dimensiones tiene el mundo? Los filósofos llamados «presentistas» sostienen que tres: las tres dimensiones del espacio. ¿Y el tiempo? Estos filósofos piensan que solo existe el momento presente: ni el pasado ni el futuro tienen existencia real. El pasado ya fue, lo podemos recordar, pero no es. El futuro aún no ha sucedido y, por tanto, no existe. Solo «es» el momento presente; y un momento no conforma una dimensión (conjunto infinito de puntos), sino un solo punto. ¿Es correcta esta visión filosófica, afín al sentido común? Afirmo que no lo es.

La teoría especial de la relatividad, con su bien corroborada relatividad de la simultaneidad de los eventos, es una prueba de ello. No hay un «único» momento presente para todos los sistemas que forman el universo. Sucesos que pueden parecer presentes y simultáneos a un observador son sucesivos para otro. Si la existencia no depende del sistema de referencia usado para describir el mundo (principio de objetividad) entonces no es posible afirmar que «solo existe el presente». La relatividad general, sin embargo, nos ha dado evidencias aún mayores para pensar que pasado y futuro son tan reales como el presente y que las dimensiones del mundo son

**«EL ESPACIO-TIEMPO
ES EL SISTEMA DE TODOS
LOS SUCESOS. TODO
LO QUE OCURRIÓ, OCURRE
O OCURRIRÁ ES PARTE
DE ESE SISTEMA»**

cuatro y no tres. Esto es, el tiempo es una dimensión tan válida como las espaciales y tan real como ellas. El niño que fui es una parte temporal de mi ser, como lo será el viejo que seré (o acaso ya soy). Son distintas partes de un objeto de cuatro dimensiones, tan diferentes como lo es mi mano de mi cabeza cuando pensamos en tres dimensiones espaciales solamente.



El 14 de septiembre de 2015, el observatorio LIGO detectó por primera vez la existencia de ondas gravitacionales. Estas detecciones tienen implicaciones científicas importantes, pero también filosóficas: pueden servir para mostrar que la doctrina filosófica que afirma que solo existe el presente (presentismo) es falsa.

Recientemente, la colaboración LIGO (siglas en inglés de Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) ha reportado la detección directa, por vez primera, de ondas gravitacionales. El anuncio, realizado en febrero de 2016, se refiere a un suceso registrado el 14 de septiembre de 2015 y que se ha identificado con el código GW150914. Las ondas gravitacionales detectadas fueron producidas por la fusión de dos agujeros negros con masas de 36 ± 5 veces y 29 ± 4 veces la masa del Sol, que resultó en un agujero negro de 62 ± 4 masas solares. Las $3,0 \pm 0,5$ masas solares restantes corresponden a energía emitida en forma de ondas gravitatorias. Como



el acontecimiento ocurrió a una distancia de unos 400 megapársecs,¹ las ondas han estado viajando por el espacio unos 1.300 millones de años. Un segundo evento fue detectado el 26 de diciembre de 2015. Esta señal, producida por un sistema menos masivo, fue anunciada el 15 de junio del año 2016.

Estas detecciones tienen implicaciones importantes: muestran que la teoría de la relatividad general es correcta en sus predicciones de campo fuerte dentro de la sensibilidad de los instrumentos, despejan toda duda sobre la existencia de ondas gravitacionales y aportan nueva evidencia sobre la existencia de los agujeros negros. Pueden servir, además, para mostrar que el presentismo, la doctrina filosófica que afirma que solo existe el presente, es falsa (para una discusión sobre el tema, ver Romero, 2015a). Consideremos el siguiente argumento (Romero, 2015b):

**«CUÁNTO MÁS CERCA DE
LA CIENCIA ESTÉN LAS
TEORÍAS FILOSÓFICAS, MÁS
FACTIBLE ES ESTABLECER
SU VEROSIMILITUD»**

- P1. Hay ondas gravitacionales.
 - P2. Las ondas gravitatorias tienen curvatura de Weyl diferente de cero.
 - P3. La curvatura de Weyl distinta de cero solo es posible en cuatro o más dimensiones.
 - P4. El presentismo es incompatible con un mundo cuatridimensional.
- Entonces, el presentismo es falso.

Las premisas P2 y P3 son necesariamente verdaderas. Las ondas gravitacionales se propagan en el espacio vacío, donde las ecuaciones de campo de Einstein implican que las componentes de la gravitación asociadas a la materia son idénticamente nulas en el vacío. Pero la curvatura total del espacio-tiempo no solo abarca este tipo de curvatura, llamada de Ricci, sino también la curvatura asociada al propio campo gravitacional, llamada curvatura de Weyl, que se representa por medio del objeto matemático conocido como «tensor de Weyl». Entonces, puesto que las ondas gravitacionales son alteraciones en la curvatura del espacio-tiempo, el tensor de Weyl debe ser distinto de cero en su presencia. Si las dimensiones del mundo fuesen tres, según lo propuesto por los presentistas, el tensor de Weyl debería ser nulo. Solo en cuatro o más dimensiones de la gravedad puede propagarse a través del espacio-tiempo vacío (Romero y Vila, 2014). Por tanto, el presentista o bien debería negar que el presentismo es incompatible con un mundo de cuatro dimensiones o aceptar que el presentismo es falso. Pero el presentismo es esencialmente la doctrina según la cual las cosas

no tienen partes temporales. Cualquier admisión de extensión temporal equivale a renunciar a la afirmación básica del presentismo: no hay futuro ni pasado. Mi conclusión es que, dado que las ondas gravitacionales existen, el presentismo es totalmente falso.

Una vez más vemos cómo observaciones astronómicas basadas en consideraciones físicas pueden servir para poner a prueba doctrinas filosóficas. Cuanto más cerca de la ciencia estén las teorías filosóficas, más factible es establecer su verosimilitud. De forma análoga, cuanto más informada esté la ciencia de los problemas filosóficos, más claros y directos serán sus aportes a nuestro conocimiento del mundo. En ese círculo virtuoso, acaso radique la esperanza de Boltzmann de que alguna vez lleguemos a pensar filosóficamente todos los problemas científicos y a responder científicamente todos los problemas filosóficos. ⊕

REFERENCIAS

- Boltzmann, L. (1974). *Theoretical physics and philosophical problems: Selected writings*. Dordrecht: Reidel.
- Bunge, M. (1974-1989). *Treatise on basic philosophy*. Dordrecht: Kluwer.
- Ferrater-Mora, J. (1994). *Diccionario de filosofía*. Barcelona: Ariel.
- Novello, M., & Perez-Bergliaffa, S. E. (2008). Bouncing cosmologies. *Physics Reports*, 463(4), 127–213. doi: [10.1016/j.physrep.2008.04.006](https://doi.org/10.1016/j.physrep.2008.04.006)
- Reichenbach, H. (1977). *Der aufstieg der wissenschaftlichen philosophie*. Wiesbaden: Weyer Verlagsgesellschaft.
- Rescher, N. (2001). *Nature and understanding: The metaphysics and methods of science*. Oxford: Oxford University Press.
- Romero, G. E. (2012). Parmenides reloaded. *Foundations of Science*, 17(3), 291–299. doi: [10.1007/s10699-011-9272-5](https://doi.org/10.1007/s10699-011-9272-5)
- Romero, G. E. (2013a). From change to spacetime: An eleatic journey. *Foundations of Science*, 18(1), 139–148. doi: [10.1007/s10699-012-9297-4](https://doi.org/10.1007/s10699-012-9297-4)
- Romero, G. E. (2013b). Adversus singularitates: The ontology of space-time singularities. *Foundations of Science*, 18(2), 297–306. doi: [10.1007/s10699-012-9309-4](https://doi.org/10.1007/s10699-012-9309-4)
- Romero, G. E. (2015a). Present time. *Foundations of Science*, 20(2), 135–145. doi: [10.1007/s10699-014-9356-0](https://doi.org/10.1007/s10699-014-9356-0)
- Romero, G. E. (2015b). On the ontology of spacetime: Substantivalism, relationism, eternalism, and emergence. *Foundations of Science*. doi: [10.1007/s10699-015-9476-1](https://doi.org/10.1007/s10699-015-9476-1)
- Romero, G. E., & Pérez, D. (2011). Time and irreversibility in an accelerating universe. *International Journal of Modern Physics D*, 20(14), 2831–2838. doi: [10.1142/S021827181102055X](https://doi.org/10.1142/S021827181102055X)
- Romero, G. E., & Vila, G. S. (2014). *Introduction to black hole astrophysics*. Heidelberg: Springer.
- Stolpovskiy, M. (2016, 19-26 de marzo). *QUBIC Experiment*. Conferencia en 51th Rencontres de Moriond, La Thuile, Italia. Consultado en <https://arxiv.org/pdf/1605.04869v1.pdf>

Gustavo E. Romero. Doctor en Física y profesor titular de Astrofísica Relativista en la Universidad Nacional de La Plata (Argentina). Es investigador superior del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el Instituto Argentino de Radioastronomía, donde dirige un grupo de investigación. Ha publicado cerca de trescientos artículos y diez libros sobre temas de astrofísica, gravitación y filosofía científica. Ha impartido conferencias y cursos sobre estos temas en más de veinte países.

¹ 1 megapársec (Mpc) equivale a más de tres millones de años luz.