



ROBERTO
EMPARAN

ILUMINANDO
EL
LADO OSCURO
DEL
UNIVERSO

AGUJEROS NEGROS,
ONDAS GRAVITATORIAS,
Y OTRAS MELODÍAS
DE EINSTEIN

Ariel

Roberto Emparan

Iluminando el lado oscuro del universo

Agujeros negros, ondas gravitatorias
y otras melodías de Einstein

Ariel

1.ª edición: febrero de 2018

© 2018, Roberto Emparan

Ilustraciones de Roberto Emparan

Derechos exclusivos de edición en español:

© Editorial Planeta, S. A.

Avda. Diagonal, 662-664 - 08034 Barcelona

Editorial Ariel es un sello editorial de Planeta, S. A.

www.ariel.es

ISBN: 978-84-344-2731-0

Depósito legal: B. 28.316-2017

Impreso en España

El papel utilizado para la impresión de este libro
es cien por cien libre de cloro y está calificado como papel ecológico.

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal). Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com
o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Índice

Temblor en la noche	11
<i>Preludio: «Algo se quebró dentro de mí»</i>	13

PARTE I

Más inteligentes que su creador

1. El perseguidor	27
2. Luz absoluta	35
3. Espaciotiempo	45
4. Años extraordinarios	51
5. «La idea más feliz de mi vida»	61
6. <i>Tempus fugit</i>	71
7. La gran ilusión	81
8. El espaciotiempo vivo	91
9. Tres veces me negarás	101
10. Las negras amnesias del cielo	117
11. Obstinadamente persistente	131

PARTE II
El gato de Confucio

12. Ondas	139
13. Rumor de olas	147
14. El ruido y la furia	155
15. 21 ceros	165
16. LIGO	175
17. Detección	183
18. De todo lo visible y lo invisible	191
Línea de tiempo	201

Suplementos

A. Los relojes en movimiento se ralentizan	209
B. El movimiento contrae las distancias	211
C. La gravedad ralentiza el paso del tiempo	213
D. El principio de equivalencia en experimentos caseros	216
E. Las ecuaciones de Einstein	217
F. La polarización de las ondas	219
G. Distorsión: el origen de los 21 ceros	221
H. «GW150914»	222
<i>Agradecimientos</i>	225
<i>Notas y referencias</i>	227

1

El perseguidor

Oscuridad y luz dividen el curso del tiempo.

THOMAS BROWNE, *Urn Burial*

Mencionamos el nombre de Einstein e inevitablemente surge alguna de las innumerables leyendas populares acerca de él. Unas simplifican sus contribuciones a la ciencia, otras recalcan su singularidad a la vez que, paradójicamente, lo hacen más próximo al común de los mortales, para que nadie dude de que, si no uno mismo, al menos los hijos sí pueden llegar a ser como Einstein. A menudo oímos que de pequeño tuvo problemas de aprendizaje y que fue un mal estudiante que suspendía en matemáticas. Que él y sus ideas fueron inicialmente rechazados por el sistema científico de su tiempo. Que nadie le entendía, y que incluso ahora apenas nadie comprende sus teorías. Que fue responsable de la bomba atómica como consecuencia de su más famosa fórmula, $E = mc^2$. Y que sus descubrimientos se resumen en que «todo es relativo».

Estas creencias, aunque falsas en general, tienen un grano de verdad en su origen que las ha mantenido vivas en el imaginario popular. Podemos comenzar con los mitos sobre su infancia. Se remontan a los primeros años tras el nacimiento, en 1879,¹ del pequeño Albert, de padres judíos no practicantes, Hermann y Pauline, en la vieja ciudad catedralicia de Ulm,

a orillas del Danubio en el sur de Alemania. Hacía siglos que se decía «*Ulmenses sunt mathematici*»,² los de Ulm son matemáticos. Sin embargo, esta auspiciosa influencia local no pudo durar mucho: un año más tarde, la familia se trasladó a Múnich siguiendo los negocios, de prosperidad variable, de Hermann. Allí, cuando Albert contaba cerca de tres años, sus padres —posiblemente por iniciativa de Pauline, de carácter más enérgico que su marido y con grandes ambiciones para su primogénito— hicieron que lo viera un médico, preocupados porque el pequeño todavía no hablaba. Muy probablemente aquí esté el germen de la leyenda sobre su tardío desarrollo.

No obstante, Albert comenzó a hablar poco después, pronunciando correctamente frases completas tras haberlas ensayado en voz baja. Esto sugiere, más que retraso, una señal temprana del carácter meditativo del niño. Y probablemente también un rasgo suyo menos conocido, pero quizás no infrecuente entre científicos. Él mismo describió su forma de pensar como predominantemente no verbal, consistente en su origen en imágenes y sensaciones que solo después de haber adquirido coherencia podía traducir a palabras. A lo largo de su vida, Einstein nunca tuvo gran facilidad para los idiomas. En la escuela era un alumno brillante (aunque no un prodigio), en particular en matemáticas y ciencias naturales, pero sus peores notas —simplemente aceptables— las obtenía en las asignaturas de latín, griego y francés, lengua esta en la que con el tiempo llegó a ser capaz de conversar y disertar, pero sin gran soltura. Tampoco llegó a sentirse del todo cómodo con el inglés, pese a más de veinte años de residencia en Estados Unidos.

Pero no conviene exagerar: Einstein se defendía también en italiano, ya que vivió en el norte de Italia durante el final de su adolescencia. De adulto escribía con gran claridad, expresividad y dominio del lenguaje. Sus aparentes dificultades verbales solo merecen mención por el contraste con su abrumador talento en otras áreas. Los malos estudiantes no pueden escudarse ni consolarse en el precedente de Einstein.

Persiguiendo la luz

Ya de adolescente, Albert mostraba lo que sería su carácter el resto de su vida: fuertemente independiente y suspicaz frente a cualquier tipo de autoridad, lo que le causó dificultades con la inflexible educación alemana de la época, otro elemento cierto de su leyenda. También estaba dotado de una gran capacidad de abstracción y concentración, así como de una singular tenacidad anclada en autoconfianza. No le faltaban motivos: llegó por su cuenta a dominar el cálculo diferencial e integral antes de los quince años, al tiempo que se planteaba cuestiones científicas de carácter fundamental sorprendentemente agudas, tales como, ¿qué observaríamos si persiguiésemos un rayo de luz, corriendo junto a él hasta alcanzar su velocidad?³

Einstein entendía ya lo suficiente de las teorías físicas de la época, en particular, que la luz se propaga como una oscilación, una ola del campo electromagnético, para concluir, con perplejidad, que lo que así se vería —un rayo de luz en reposo, una onda que no avanza respecto al observador, tal y como ve la ola el surfista que monta en ella— no parecía corresponder a nada conocido. La solución, ahora lo sabemos, es tan simple como declarar que esa situación no pueda ocurrir: nos es imposible alcanzar la velocidad de la luz.

Llegar a esta conclusión y a sus consecuencias más profundas le requeriría al joven Einstein una década de maduración, mientras se adentraba en el estudio de la física más avanzada en busca de una solución al enigma. Pero aquí tenemos ya el esquema común de sus más grandes creaciones. Una intuición inicial sencilla pero penetrante, que revela una dificultad, incluso una contradicción en la base de la física. Una persecución incansable de esa idea durante años. Una solución original, elegante y revolucionaria, que altera irreversiblemente los fundamentos de nuestra visión de la Naturaleza.

Desde mi punto de vista

Para nosotros, lo importante de esa historia es que a sus dieciséis años, si no antes, Einstein ya se planteaba en qué manera el movimiento de un observador afecta a sus observaciones. No era desde luego el primero en hacerlo: esta fue una cuestión importante al comienzo de la ciencia moderna. Si, como propuso Copérnico, la Tierra se mueve, ¿cómo es que al lanzar una piedra verticalmente hacia arriba vuelve a caer al mismo punto desde el que la hemos lanzado? ¿No debería caer muy lejos, ya que la Tierra se ha desplazado durante el tiempo en que la piedra está en el aire? De hecho, ¿por qué no queda también atrás el aire, o nosotros mismos, cuando la Tierra se mueve por el espacio?

Galileo lo explicó hablando de navegantes que viajan en la bodega de un barco, pero a nosotros nos resulta más familiar pensar en pasajeros a bordo de trenes o aviones. Aunque estemos volando a 900 kilómetros por hora, la azafata acierta a echar el café en nuestra taza. Si se nos cae una moneda al suelo no tenemos que ir a recogerla al fondo del pasillo. Incluso podríamos jugar una partida de canicas tal y como si estuviésemos en el pasillo de una casa en la superficie de la Tierra. Concluimos que es imposible distinguir el movimiento uniforme, es decir, sin turbulencias ni cambios de dirección, del reposo. Galileo, convincente, arguye: de la misma manera, podemos concebir la Tierra como un gran navío en el que viajamos —nosotros y todos los objetos sobre el planeta— sin notar su movimiento por el espacio.

En otras palabras: el movimiento uniforme es *relativo*. Damos aquí la bienvenida al famoso término que nos indica que dos situaciones aparentemente diferentes pueden de hecho ser totalmente equivalentes, y convertimos esta observación en un principio, una suerte de superley que todas las demás leyes de la ciencia deben satisfacer: las leyes de la Naturaleza han de predecir los mismos fenómenos para quien esté quieto y para quien se mueva a velocidad constante.

Esto implica que, en realidad, no podemos decidir quién está en reposo y quién se mueve. Pensemos en esas ocasiones en que, sentados en el tren, vemos por la ventanilla otro vagón en la vía de al lado. Al observar cómo ese otro tren se mueve, nos entra la duda de si no será quizás nuestro vagón el que avanza, mientras el otro permanece quieto en la estación. Esta desconcertante incapacidad de saber quién se mueve y quién no, aún más, negar que exista ninguna manera única e inambigua de decidirlo, es lo que llamaremos relatividad del movimiento.

Bravo por Galileo, por haber sabido extraer de observaciones cotidianas un elemento esencial de la Naturaleza. Esto lo sitúa en un pedestal aparte en la ciencia, junto a Newton, Einstein y Darwin. Pero entonces, ¿qué hizo Einstein para que invariablemente asociemos la palabra *relatividad* con su nombre?

Persecución imposible

En su experimento mental adolescente, Einstein se dio cuenta de que si aplicamos el principio de relatividad suponiendo que no hay límites a la velocidad a la que podamos movernos, entonces encontramos dificultades. Si pudiésemos viajar a la velocidad de la luz, seríamos capaces de ver un rayo de luz en reposo.

¿Y por qué no vamos a poder alcanzar velocidades tan altas como queramos? Imaginemos que viajamos en un tren que va a 100 kilómetros por hora. Nos levantamos del asiento y corremos hacia la parte delantera del tren a 10 kilómetros por hora —esta es la velocidad medida dentro del tren, dividiendo la distancia que andamos en el pasillo por el tiempo que nos lleva recorrerla. Resulta claro (¿no es así?) que alguien que esté en el andén de la estación y nos vea pasar en ese momento dirá que nuestra velocidad respecto a él es de $100 + 10 = 110$ kilómetros por hora. Y si, mientras

corremos, lanzamos hacia delante una pelota con una velocidad que medimos como 15 kilómetros por hora, entonces la persona en el andén observará que la pelota se mueve a 125 kilómetros por hora— simplemente seguimos sumando las distintas velocidades. Parece no haber límite: un insecto sobre la pelota que salte desde ella hacia delante también añadirá su velocidad, o la restará si salta hacia atrás. Repitiendo la suma de sucesivas velocidades, ¿por qué no imaginar, junto con el joven Albert, que lleguemos a alcanzar o superar la velocidad de la luz? Si así lo hacemos, podremos perseguir a velocidad creciente un rayo de luz emitido desde el andén. Nos parecerá que la velocidad a la que este rayo avanza respecto a nosotros es cada vez menor, hasta que le demos alcance y lo veamos, de manera efectiva, quieto.

El problema, se dio cuenta Einstein, es que esto no parecía posible. Repetidos intentos a lo largo del siglo XIX concluían, obstinadamente, que la luz no altera su velocidad, sin importar cuál sea el movimiento del aparato de medida ni la precisión del experimento. Y no solo existía un problema con las observaciones experimentales. Las leyes que regían el comportamiento de la luz habían sido establecidas por el escocés James Clerk Maxwell en la década de 1860, con su teoría del electromagnetismo. Sus ecuaciones no parecían admitir la posibilidad de sumar o restar la velocidad del aparato de medida a la de la luz. Luego la teoría no podía describir un rayo de luz en reposo. Dicho de otro modo, las ecuaciones de Maxwell no parecían respetar el principio de relatividad de Galileo.

Ante este dilema —¿Galileo o Maxwell?—, inicialmente Einstein tomó el camino más obvio: la regla de la suma de velocidades de Galileo es de una inmediatez tan natural que apenas cabe ponerla en duda. Debía entonces servir de base para corregir la teoría del electromagnetismo. Pero todos sus esfuerzos en esta dirección fracasaban. No lograba hallar una modificación consistente —y convincente— de la teoría de Maxwell que la hiciera compatible con el principio de Galileo

y que al mismo tiempo diese cuenta de la incapacidad de medir una variación en la velocidad de la luz.

Einstein mantuvo en su mente estas paradojas sobre la luz y el movimiento durante una década, en la que el adolescente precoz se convirtió en un joven bohemio que aspiraba a dedicarse a la física teórica. Así fue madurando lenta y obsesivamente, afinando su instinto para guiarse en la oscuridad. Cuando llegó su resolución, lo hizo con la claridad deslumbrante que confiere convicción a las ideas correctas.