

Antonio Ereditato

Guía turística para exploradores del espacio



Antonio Ereditato

GUÍA TURÍSTICA
PARA EXPLORADORES
DEL ESPACIO

Traducción de Juan Manuel Salmerón Arjona

TUSQUETS
EDITORES

Título original: *Guida turistica per esploratori dello spazio*

1.ª edición: marzo de 2022

© Il Saggiatore S.r.L., Milán, 2019

Publicado por acuerdo especial con The Ella Sher Literary Agency

© de la traducción: Juan Manuel Salmerón Arjona, 2022

Reservados todos los derechos de esta edición para

Tusquets Editores, S.A. – Avda. Diagonal, 662-664 – 08034 Barcelona

www.tusquetseditores.com

ISBN: 978-84-8310-9066-713-2

Depósito legal: B. 1.601-2022

Fotocomposición: David Pablo

Impresión y encuadernación: Unigraf, S.L.

Impreso en España

El papel utilizado para la impresión de este libro está calificado como papel ecológico y procede de bosques gestionados de manera sostenible.

Queda rigurosamente prohibida cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación total o parcial de esta obra sin el permiso escrito de los titulares de los derechos de explotación.

Introducción. El sueño del viajero	11
Primera parte. Qué meter en la maleta	
1. Cosas de la relatividad especial.	17
2. Telescopios y microscopios excepcionales.	29
3. ¡Qué inmenso es el cosmos!	50
4. ¡(Casi) tan veloz como la luz!	67
5. Propulsión con antimateria y con otras cosas	75
Segunda parte. El viaje	
6. Empieza el viaje	93
7. La Luna y primera visión del cielo estrellado.	
Día 2	96
8. Júpiter, el mayor de los hermanos. Día 9	118
9. En los confines del sistema solar. Día 153	132
10. Otra estrella y otro planeta. Año 5, día 287	138
11. El rey de la galaxia. Año 19, día 140	155
12. En medio de la nada, adonde nadie esperaba llegar. Año 33, día 227	174
13. Preparados para volver a casa. Año 33, día 294	187
Agradecimientos	203

Cosas de la relatividad especial

Según la teoría de la relatividad, no existe un único tiempo absoluto, sino que cada cual tiene su propia medida del tiempo, que depende de dónde se halle y de cómo se mueva.

STEPHEN HAWKING

El primer instrumento que necesitamos para proyectar y entender nuestro viaje es la teoría de la relatividad especial de Albert Einstein, que describe el movimiento de los cuerpos materiales a velocidades relativas semejantes a la de la luz en el vacío, que es de unos 300.000 km/s. Y es porque las ecuaciones de la mecánica de Galileo y Newton, que explican muy bien el movimiento de cuerpos relativamente lentos, dejan de concordar con la evidencia experimental cuando se trata de objetos muy veloces: si bien las predicciones de la física llamada clásica se verifican en gran parte de los sucesos de nuestra vida diaria e incluso en muchos de los experimentos que hacemos en los laboratorios de física moderna, necesitamos la teoría de la relatividad einsteiniana para explicar algunos de los procesos que tienen lugar en el mágico mundo del microcosmos, el universo de las partículas elementales, y para poder predecir el movimiento de objetos macroscópicos como satélites o astronaves que viajen a velocidades grandísimas, que llamamos relativistas, próximas a la de la luz. En estos casos, las reglas del juego cambian y nos vemos obligados a sustituir la visión de Sir Isaac Newton por la más amplia y completa de Einstein.

Albert Einstein desarrolló su teoría en la tranquila ciudad de Berna de principios del siglo xx, culminando así una trayectoria lógico-científica que revolucionó el pensamiento moderno y puso en cuestión conceptos que parecían completamente ajenos a la ciencia. Empezó examinando la idea de la simultaneidad de los hechos físicos y de su observación y continuó tratando de generalizar todo lo posible las leyes de la física para que, además de a los cuerpos en movimiento, pudieran aplicarse también al electromagnetismo. Con Einstein, el tiempo pierde su carácter absoluto y se convierte en una dimensión que depende de si los cuerpos están o no en movimiento; ya no es el tiempo absoluto e inmutable de Newton, sino un tiempo diferente para cada uno de nosotros, los observadores de los fenómenos físicos, que nos movemos unos respecto de otros. El tiempo einsteiniano, diferente para cada cual, no tiene que ver simplemente con la diferente percepción subjetiva del transcurso de las horas. Einstein habla precisamente de eso, del tictac de los relojes, del oscilar de los átomos; su tiempo, que es el tiempo de nuestro mundo en condiciones extremas, a velocidades grandísimas, es un tiempo también relativo, como la longitud de los cuerpos y la distancia espacial entre distintos puntos.

Los argumentos de Einstein, que se fundan en una teoría que la evidencia experimental ha demostrado, resultan imprescindibles en cualquier debate sobre tiempo y espacio. Ya no podemos pasar por alto las hipótesis básicas de su teoría de la relatividad, ni en el plano científico ni en el filosófico. El concepto de tiempo ha evolucionado a lo largo de los siglos: del terrible y algo caótico subjetivismo prenewtoniano —en el que cada cual pensaba lo que quería— se pasó al tiempo absoluto newtoniano, para acabar, de nuevo, en un relativis-

mo que podríamos llamar absolutista y, por tanto, en una nueva forma de subjetivismo basado en factores científicos y verificables. El absolutismo, esto es, el carácter absoluto del tiempo, se ha desplazado con Einstein al espaciotiempo, pues las ecuaciones de la relatividad mezclan las tres coordenadas espaciales con la temporal. Esta es, en síntesis, la verdadera revolución del físico de Ulm.

Einstein responde a una pregunta que parece trivial y en realidad es revolucionaria: «La velocidad c que aparece en las ecuaciones de Maxwell que explican perfectamente los fenómenos electromagnéticos, la velocidad de la luz, ¿respecto de qué sistema de referencia tiene un valor tan grande? Si, pongamos por caso, yo fuera tras un rayo de luz montado en otro rayo, ¿me acercaría a una velocidad de $2c$, dos veces la de la luz?». Si así fuera, solo existiría un sistema de referencia, entre infinitos disponibles, en el que las ecuaciones de Maxwell serían válidas. Y sería el sistema privilegiado del éter, el hipotético medio invisible y sin masa, que hoy sabemos que no existe, a través del cual las ondas electromagnéticas (la luz, por ejemplo) se propagan, aunque lo hagan aparentemente en el vacío físico, como ocurre en el espacio cósmico. Vacío, sí, pero lleno de éter, respecto del cual estrellas, galaxias, planetas y astronautas se mueven a velocidades distintas. La luz, pues, solo viaja a velocidad c en el sistema de referencia en el que el éter está inmóvil. Adiós al carácter invariable de las leyes electromagnéticas en las transformaciones de Galileo. Y es que la física clásica se basa en el supuesto de que sus leyes deben ser las mismas —es decir, invariables— en todos los sistemas de referencia llamados inerciales, inmóviles o en movimiento rectilíneo uniforme entre sí.

Ya unos veinte años antes de que Einstein hiciera estas reflexiones, los físicos estadounidenses Albert Michelson y Edward Morley idearon y realizaron un experimento que fue fundamental para el posterior desarrollo de la teoría de la relatividad. Para ese experimento usaron un interferómetro que combinaba los rayos de una fuente de luz cuyos brazos ortogonales viajaban con la Tierra a una velocidad determinada con respecto al hipotético éter inmóvil. Las figuras de interferencia observadas al final del trayecto de los rayos deberían ser, pues, distintas con el variar de la dirección de movimiento del interferómetro (y de la Tierra) respecto del éter, según fuera de noche o de día, verano o invierno. Pero los dos científicos no observaron variación alguna, ni valores distintos de la velocidad de la luz. El resultado del experimento era así completamente compatible con el carácter constante de la velocidad de la luz, que es c independientemente del sistema de referencia, y demostraba que el éter no existía. Resulta gracioso que cien años después de aquel experimento decisivo, que mil evidencias más corroboran, mucha gente siga hablando de transmisiones radiotelevisivas a través del éter.

El experimento de Michelson y Morley sentó las bases del posterior desarrollo de la teoría de la relatividad especial de Einstein, aunque el genial físico teórico diera a entender que no fue determinante en su trabajo. Él partió de dos supuestos:

1) todas las leyes de la física, incluidas las de la mecánica y el electromagnetismo, deben ser las mismas sea cual sea el sistema de referencia inercial que cojamos;

2) la velocidad de la luz tiene siempre el mismo valor c en todos esos sistemas de referencia.

El lector atento lo ha entendido. Si, montado en un rayo de luz —o, lo que es lo mismo, en uno de los fotones que lo inte-

gran—, voy tras otro rayo de luz, la velocidad relativa seguirá siendo c ¡y no $2c$! En realidad, montar en un rayo de luz es imposible por principio, pero el resultado no cambiaría si me subiera a un objeto material que viajara al 99,9999 por ciento de c . La consecuencia de estos dos supuestos es tremenda: la mecánica newtoniana está equivocada y las transformaciones cinemáticas que permiten pasar de un sistema de referencia a otro que se mueva a una velocidad v respecto de él dejan de ser las clásicas de Galileo y pasan a ser las que desarrolló a principios del siglo xx el físico holandés Hendrik Lorentz y utilizó Einstein para dar forma matemática a su teoría. El tiempo y el espacio de Einstein se funden de manera indisoluble en el espaciotiempo. Estas transformaciones y las cosas raras que producen son el precio que hay que pagar por que todas las leyes de la física sean las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales.

Veamos qué implica todo esto poniendo un ejemplo más claro. Según la teoría de la relatividad, si en mi laboratorio mido la longitud L_0 de una mesa, un colega que se mueva respecto a mí con una velocidad constante v observará una contracción de esa mesa en la dirección del movimiento y la longitud L que él mida será más pequeña que L_0 según un factor que será función de la velocidad relativa que haya entre nosotros. La diferencia entre L y L_0 aumenta conforme v se acerca a la velocidad de la luz c . Por poner un ejemplo de carácter astrofísico-espacial, la distancia que medimos entre la Tierra y un planeta lejano le parecerá menor a un cosmonauta que se dirija a ese planeta a muchísima velocidad. Por el contrario, para velocidades relativas pequeñas, L y L_0 tenderán a ser iguales, como dice la mecánica clásica de Newton... y el sentido común.

De la misma manera, si en nuestro laboratorio terrestre calculamos que la duración de un fenómeno, por ejemplo de un día, es T_0 (24 horas), nuestro amigo, que se mueve en la nave espacial a velocidad v , cuando mida el espacio de tiempo que es para nosotros un día, obtendrá un resultado T que difícilmente entenderá: para él, nuestro tiempo se dilata. El espacio de tiempo que para nosotros es un día de 24 horas le parecerá a él más largo cuanto más se acerque a c la velocidad relativa v . En consecuencia, al astronauta que se aleje de nosotros, nuestros movimientos le parecerán acelerados, mientras que a nosotros los suyos nos parecerán ralentizados, como si se moviera a cámara lenta. En la relatividad de Einstein, pues, espacio y tiempo no se separan como en la mecánica clásica, sino que están íntimamente relacionados, como decimos, en forma de espaciotiempo.

Aclaremos la cuestión usando números. Si la velocidad v de la nave espacial fuera casi la tercera parte de la de la luz, pongamos 90.000 km/s, el viaje astronómico de nuestro colega será para él un 5 por ciento más corto, y un día nuestro durará para él no 24 horas, sino 24 horas y 72 minutos. Excelente manera de rejuvenecer o, si lo preferimos, de viajar al futuro. Imaginemos, por ejemplo, que hacemos un viaje de ida y vuelta de un año en una nave espacial que vaya a una velocidad del 99 por ciento de c . Pues bien, cuando volvamos, por culpa (o en virtud) de la dilatación relativista del tiempo, para los amigos que nos hayan esperado en la Tierra habrán pasado nada menos que 7 años. Obsérvese que estos efectos aumentan mucho conforme nos aproximamos a la velocidad de la luz. Pasar del 99 por ciento al 99,9 por ciento provoca cambios notables, pero, por lo mismo, resulta tecnológicamente más complejo alcanzar esa velocidad. No pasa lo mismo, por cierto, con las partículas de los aceleradores: para ellas, viajar al 99,99999 por ciento de la velocidad de la

luz es normal. Claro, alguien podría preguntarse, por pura cuestión de simetría, por qué al distanciarnos relativamente el astronauta y nosotros es él quien al final del viaje está más joven y no nosotros. Es la llamada paradoja de los gemelos. La respuesta es que las dos situaciones no son equivalentes. Para que aumente la velocidad relativa de viajero y Tierra, tenemos que acelerar al cosmonauta y desacelerarlo a la vuelta, y eso se consigue aplicando fuerzas sobre él, por ejemplo las generadas por el combustible del cohete. Solo él, pues, percibirá una aceleración (y muy fuerte) para alcanzar su velocidad de crucero y no nosotros, que estamos quietos en nuestro planeta.

Sigamos desarrollando la cuestión de los viajes interestelares con el ejemplo de antes. Para empezar, sepamos que un año luz (a.l.) es la distancia que recorre la luz en un año, nada menos que 9,5 billones de kilómetros. Pues bien, para los cosmonautas, los 7 años luz que recorrería la nave espacial para llegar a un hipotético planeta lejano se contraerían y corresponderían, si la velocidad fuera del 99 por ciento de la de luz, a solo un año luz. Así, el viaje al planeta duraría mucho menos para los miembros de la tripulación que para los de la sala de control de la misión y para todos los demás terrícolas. Y decíamos que el tiempo de viaje se reducirá tanto más cuanto más se acerque a c la velocidad de la astronave: 99,9 por ciento, 99,99 por ciento, etcétera. Este es un punto clave de la cuestión. Intuitivamente, podríamos pensar que pasar del 99,99 por ciento al 99,9999 por ciento de la velocidad de la luz apenas acortaría la duración del viaje, pero no es así, porque los efectos de contracción y dilatación del espacio y el tiempo crecen vertiginosamente cuando nos aproximamos a c . De la misma manera, como veremos pronto, el gasto energé-

tico que supone un aumento aunque sea infinitesimal de la velocidad resulta progresivamente enorme.

En principio, el viaje de 7 años luz podría durar solo un día. Incluso podríamos cruzar la Vía Láctea de punta a punta, una distancia de cien mil años luz, en un lapso de tiempo muy breve, siempre que superáramos las inmensas limitaciones tecnológicas que supone suministrar a una nave espacial la energía necesaria para acelerarla hasta casi la velocidad de la luz. Lo malo es que los astronautas no podrían luego contar a nadie las maravillas que vieran durante el viaje, porque, cuando volvieran a casa después de visitar los confines de la galaxia, verían que los terrícolas habríamos envejecido... ¡doscientos mil años!

De hecho, viajar a velocidades grandísimas hace que toda misión al espacio sea al mismo tiempo un viaje en el tiempo, y que se cumpla así uno de los sueños que siempre ha tenido el hombre, al menos en lo que respecta a viajes al futuro. Eso sí, desde el punto de vista práctico, la cosa es más compleja de lo que puede parecer. Lo veremos más adelante.

Hagamos ahora una observación curiosa, aunque se trate de un caso límite y por tanto irrealizable. Dado que las distancias disminuyen fuertemente al aproximarnos a c y que, por ende, el tiempo necesario para recorrerlas se reduce, si un fotón —que por definición viaja exactamente a la velocidad de la luz— tuviera conciencia, percibiría que emplea un tiempo nulo en pasar de un punto a otro del cosmos independientemente de lo lejos que estén esos puntos, ¡los cuales, por tanto, para él coincidirían!

Como no podemos montarnos en un fotón, veamos cómo podemos alcanzar velocidades grandísimas desde el punto de vista físico y tecnológico. La relatividad einsteiniana dice que

todas las variables cinemáticas y dinámicas que determinan el movimiento de los cuerpos materiales varían respecto de las correspondientes magnitudes newtonianas cuando la velocidad se acerca a la de la luz. Consideremos el caso de la energía y de la cantidad de movimiento de un cuerpo, dos magnitudes para las que existe un principio de conservación: en cualquier proceso o reacción que tenga lugar en un sistema aislado, no sujeto a influencias externas, la energía total del sistema y la cantidad de movimiento antes y después de la reacción son las mismas. En la ciencia clásica, estas magnitudes dependen de la velocidad y de la masa de la partícula material. Un componente de la energía total de un cuerpo es el cinético o de movimiento. Las dos definiciones de cantidad de movimiento y energía de movimiento son $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ y $E = 1/2 mv^2$. Las variables en negrita representan magnitudes físicas vectoriales, definidas por un valor numérico (módulo), una dirección y un sentido, como es la velocidad y, en consecuencia, la cantidad de movimiento. En cambio, la energía cinética es una magnitud escalar, dada íntegramente por un número, que es el resultado de multiplicar la masa de la partícula por el cuadrado de la velocidad y dividirlo por dos (v^2 también es una magnitud escalar). A la energía cinética podemos sumar la potencial, la que tiene la partícula por hallarse, por ejemplo, en el campo gravitatorio de la Tierra.

En la teoría de la relatividad de Einstein ocurre algo increíble. Suponiendo que no haya energía potencial, como cuando nos hallamos en el espacio profundo, libres de campos gravitatorios, tenemos una fórmula para la energía total (al cuadrado) de la partícula, una fórmula que se compone de dos partes: $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$. El primer término depende de la cantidad de movimiento p y por lo tanto de su movimiento. El segundo es completamente inesperado en la física clásica y se debe al hecho de que, en la teoría de la relatividad, las

coordenadas espaciales y el tiempo se mezclan matemáticamente. Es decir, existe una forma de energía que se debe solamente a la masa de la partícula. ¿Qué sucede? Pues que, aunque la partícula esté quieta y no tenga ni velocidad ni cantidad de movimiento, no deja de poseer, a diferencia del caso clásico, una energía ingente: $E^2 = m^2c^4$, o sea, $E = mc^2$, siendo c^2 un número muy elevado. Es una de las fórmulas más famosas de la física: la equivalencia entre masa y energía de Einstein; la ecuación implica la posibilidad de transformar la primera en la segunda, multiplicándola por el grandísimo valor de la velocidad de la luz al cuadrado. Obsérvese que si la masa es nula, como en el caso de un fotón asociado a una onda electromagnética, rige la ecuación $E = pc$. Esto significa que, en un fotón, energía y cantidad de movimiento coinciden, prescindiendo de la constante c . En el caso de los fotones, o de cualquier tipo de onda electromagnética, el valor numérico de la energía que transportan es proporcional a la frecuencia de la onda o inversamente proporcional a su longitud de onda. Esto significa que la energía del fotón de un rayo X o ultravioleta es mayor que la del fotón de la luz visible y, con mayor razón, que la del fotón de una onda de radio. Este efecto lo comprobamos en la vida diaria cuando no nos importa que nos dé la luz de una lámpara de neón, pero tenemos cuidado de no exponernos mucho a los rayos ultravioletas del sol y menos aún a un haz de rayos X cuando nos hacemos una radiografía.

La masa —que es una especie de concentrado de energía— es un elemento importante del contenido energético de un objeto material o de una partícula. Y viceversa, si leemos la fórmula en sentido contrario. Incluso valores pequeños de masa pueden dar lugar a enormes cantidades de energía. Pensemos en la bomba atómica o en los reactores nucleares, en los que fracciones minúsculas de la masa del uranio desa-

parecen, en el sentido literal del término, para reaparecer transformadas en pura energía y masa de otras partículas. Si convertimos completamente en energía un solo gramo de materia, obtenemos una cantidad que equivale a unos 10^{14} julios (100.000.000.000.000 julios) o, lo que es lo mismo, la energía que produciría el estallido de 21.000 toneladas de trilita, o la que produjo, tristemente, el artefacto atómico que se lanzó sobre Hiroshima.

¿Qué consecuencia tiene todo esto en el plano tecnológico, si lo que queremos es suministrar energía y acelerar cuerpos materiales? Pensemos, para empezar, en las partículas elementales que pueblan el microcosmos subatómico y de las que había una cantidad enorme cuando el universo nació, después del Big Bang. La masa de cualquiera de estas partículas es infinitesimal comparada con la del más pequeño objeto de nuestra vida cotidiana. Pongamos por ejemplo los protones, componentes del núcleo atómico. Su masa es de unos 2×10^{-27} gramos, o sea, 0,00000000000000000000000002 gramos, inmensamente menor que la de una mota de polvo. Por eso, en los aceleradores de partículas, podemos acelerar protones sin mayores problemas hasta velocidades muy próximas a la de la luz, suministrándoles cantidades de energía que son insignificantes a escala macroscópica, pero que resultan altísimas cuando las concentramos en una cantidad de materia microscópica. Por ejemplo, solo con la cien mil millonésima parte de un julio, que no bastaría ni para que un mosquito batiera un ala, un protón puede alcanzar una velocidad del 99,9999 por ciento de la de la luz. Cosa muy distinta sería acelerar a esa velocidad un gramo de materia, que contiene innumerables protones (y neutrones). Con una simple multiplicación vemos que necesitaríamos la astronómica cantidad de unos

6×10^{16} julios, el equivalente a la energía que generaría la explosión de ¡seiscientas bombas atómicas!

En suma, pues, la velocidad de la luz —y de todas las ondas electromagnéticas y de sus cuantos, los fotones— es la máxima posible en nuestro universo. Ningún cuerpo ni partícula material podrá jamás alcanzarla, sino solo acercarse, a costa de un gasto energético que crecerá enormemente a medida que se acerque a ella. Las implicaciones de la relatividad einsteiniana llevan, pues, a situaciones que jamás se esperarían en la física clásica, y dejan entrever efectos físicos espectaculares. A estos temas dedicaremos nuestra atención para imaginar nuestro maravilloso viaje.