

Más allá de la ciencia

– Howard: Si fueras un robot, y yo lo supiera y tú no, ¿querrías que te lo dijera?

– Sheldon: Depende. Cuando descubra que soy un robot, ¿podré asumirlo?

– Howard: Puede, aunque la historia de la ciencia ficción no está de tu parte.

(Temporada 1, Episodio 3)

No solo la ciencia ocupa las mentes de los protagonistas de *The Big Bang Theory*. Tienen muchas otras aficiones: la ciencia ficción, los superhéroes, los videojuegos, etc., que hace que sean calificados como *nerds*, una etiqueta que aceptan con orgullo. Esta autenticidad explica en gran parte la estima que la audiencia tiene hacia los personajes, comparta o no unas aficiones que son referenciadas de forma constante en la serie. Muchas de ellas tienen elementos que pueden ser analizados desde un punto de vista científico: en *Star Wars*, la legendaria nave de Han Solo es capaz de superar la velocidad de la luz, y los viajes en el tiempo son posibles en *Star Trek*, por mencionar dos de las ficciones que mayor pasión despiertan en nuestros

protagonistas y que más se citan (incluso con actores apareciendo como estrellas invitadas¹ o como personajes recurrentes²). En este último capítulo vamos a continuar tratando temas científicos, pero esta vez a través de estas ficciones que gustan tanto a Sheldon y compañía, así como a millones de espectadores.

Y es que sentimos una fascinación especial por las narraciones que nos permiten imaginar que superamos nuestras limitaciones y nos trasladamos a otros tiempos o a mundos remotos. ¿Pero son tales empeños un sueño inalcanzable, algo que nos está vedado por las leyes de la naturaleza? ¿O por el contrario cabe esperar que algún día sea posible viajar al pasado o al

futuro, y alcanzar los confines del universo? Analicémoslo a la luz de los conocimientos científicos actuales.

El espacio-tiempo

Intuitivamente, viajar en el tiempo nos parece algo muy distinto a hacerlo en el espacio. Nuestra experiencia nos muestra ambos conceptos como completamente distintos: mientras que gozamos de cierta libertad de movimientos en el espacio, nos vemos obligados a seguir el progreso constante del tiempo, sin ni siquiera poder alterar su velocidad. Solo tenemos a nuestra disposición el fugaz presente, mientras que el pasado es tan solo un conjunto de recuerdos que lentamente se desvanecen, y el futuro, meros propósitos que en su mayoría nunca se llevarán a cabo. Tal es la visión del tiempo conjugado, llamado así porque su estructura coincide con la de los tres tiempos verbales: presente, pasado y futuro³.

Sin embargo, desde la relatividad sabemos que el espacio y el tiempo que percibimos como escenarios estáticos constituyen realmente una

¹ Leonard Nimoy, George Takei, Brent Spiner y LeVar Burton, por parte de la franquicia *Star Trek*, y James Earl Jones (la voz de Darth Vader) por parte de *Star Wars*.

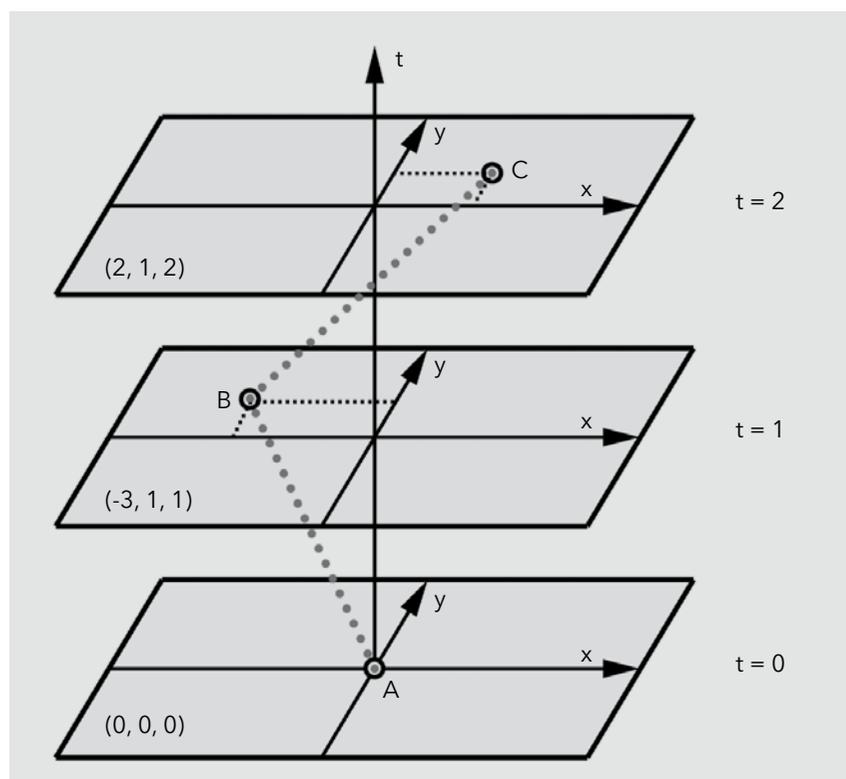
² Whil Wheaton, que hizo por primera vez de sí mismo en el quinto episodio de la tercera temporada y desde entonces ha participado en un total de 13 episodios de la serie.

única entidad modelada por los objetos que la ocupan, y relativa a cada uno de ellos. En este espacio-tiempo, un observador ve cada suceso en un punto definido por tres coordenadas espaciales (x , y y z) y una temporal (t), pero tales coordenadas serán distintas para otros observadores en diferentes sistemas de referencia. Así, puede suceder que dos sucesos A y B sean simultáneos para cierto observador, pero no para otros (o que para el primero A suceda antes que B, mientras que para el segundo sea a la inversa). Consecuentemente, no tiene sentido hablar del presente como un tiempo común a todos los observadores. Lo que es presente para unos puede ser pasado o futuro para otros.

Los conos de luz

Cualquier partícula, o por extensión cualquier objeto o cualquiera de nosotros, en cada momento está situado en un punto del espacio-tiempo que define su presente, aquello que le está sucediendo en ese momento (por ello, en física relativista a estos puntos se les denomina «sucesos»). El conjunto de puntos ocupados a lo largo del tiempo dibuja una trayectoria en el

Figura 1. Trayectoria espaciotemporal de una partícula que se mueve sobre una superficie horizontal.

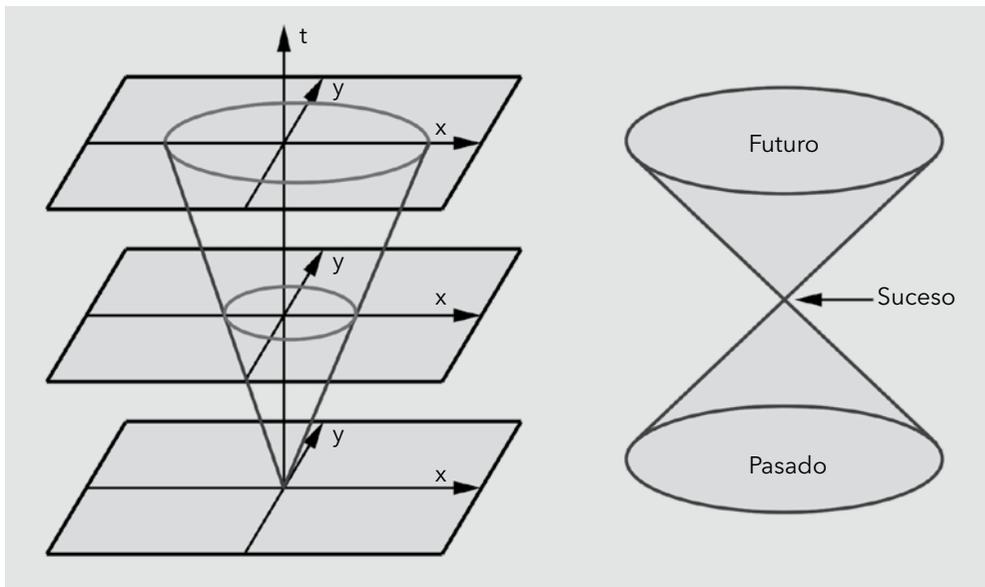


espacio-tiempo (una especie de mapa del recorrido). Como resulta difícil visualizar la trayectoria en un espacio de cuatro dimensiones, habitualmente se utiliza el recurso de eliminar una de las coordenadas espaciales, dejando solo x e y (horizontales), y añadiendo el tiempo t como coordenada vertical. Por

ejemplo, en la figura 1 vemos (de abajo arriba) la trayectoria espaciotemporal $A \rightarrow B \rightarrow C$ que sigue una partícula que se mueve sobre una superficie horizontal partiendo del centro de coordenadas $(0, 0)$, luego se desplaza tres unidades a la izquierda y una hacia adelante $(-3, 1)$, y

³El filósofo inglés John M.E. McTaggart publicó en 1908 un artículo titulado *La irrealidad del tiempo*, en el que consideraba dos distintas concepciones del tiempo: la serie A, que se corresponde con el tiempo conjugado, y la serie B, en la que simplemente hay un ordenamiento de los sucesos.

Figura 2. Conos de luz futuro y pasado (conjunto de puntos accesibles desde un suceso).



finalmente se mueve cinco unidades a la derecha para llegar a $(2, 1)^4$.

Este tipo de representación resulta útil porque nos permite visualizar la parte del espacio-tiempo accesible desde un suceso, o dicho de otra manera, qué sucesos espaciotemporales pueden influir o ser influidos desde determinado punto espaciotemporal. Para ello debemos tener en cuenta que la velocidad máxima posible es la de la luz, por lo que, partiendo de A, las posiciones alcanzables en $t = 1$ estarán contenidas en un círculo de

radio 299.792.458 m (el espacio recorrido por la luz en un segundo), y de radio doble en $t = 2$. Es lo que se representa en la parte izquierda de la figura 2. El cono que vemos, conocido como el «cono de luz futuro», contiene todas aquellas zonas del espacio-tiempo que pueden ser alcanzadas o afectadas por el suceso. En el cono simétrico (a la derecha), o «cono de luz pasado», se encuentran todos los sucesos que pueden afectar al suceso presente. Es decir, todo cuanto está fuera de los conos de luz es como si no existiera para el observador

situado en aquel punto (cada observador tiene su propio cono de luz que depende de su ubicación, de su velocidad y de la curvatura del espacio-tiempo en esa zona).

La flecha del tiempo

Aunque en las figuras anteriores las coordenadas espaciales están dibujadas en determinada dirección y sentido, la realidad es que en el espacio no hay ningún punto ni dirección preferente. No sucede lo mismo con el tiempo, que presenta una clara asimetría. Para cada observador, el tiempo transcurre en una sola dirección (la llamada «flecha del tiempo»), desde un punto de vista tanto subjetivo (recordamos el pasado, pero no el futuro) como físico (las causas preceden a los efectos, la entropía global aumenta, el colapso de la función de onda es irreversible, podemos encontrar evidencias del pasado pero no del futuro, las ondas electromagnéticas se expanden desde el punto de emisión pero no retornan a él).

Además, la fluencia del tiempo se produce de un modo regular, tanto desde el punto de vista subjetivo (si dejamos de lado variaciones en función del estado anímico) como

⁴Las coordenadas espaciotemporales de los puntos A, B y C se obtienen añadiendo como tercera coordenada la correspondiente al tiempo, con lo que obtenemos $A = (0, 0, 0)$, $B = (-3, 1, 1)$ y $C = (2, 1, 2)$.

también objetivamente mediante los relojes y otros procesos físicos. Tales ritmos, subjetivo y objetivo, son siempre los mismos en cualquier sistema de referencia, pero son vistos como distintos por observadores situados en otros sistemas. Vimos algunos ejemplos de ello en las secciones dedicadas a la relatividad especial y general. Estos ejemplos nos muestran un método efectivo para viajar en el tiempo, si bien solo hacia el futuro (es decir, respetando la flecha del tiempo). Dado que el tiempo se dilata cuando la velocidad o la gravedad son muy grandes, una manera de viajar al futuro es enviar una nave espacial tripulada a efectuar un recorrido de ida y vuelta a una velocidad próxima a la de la luz, o que pase cerca de un agujero negro (ambos retos quedan muy lejos todavía de nuestras capacidades tecnológicas). Según la velocidad alcanzada o la gravedad soportada, tras unos pocos años de viaje los pasajeros pueden regresar a la Tierra cientos o miles de años en el futuro.

El viaje al pasado

En las obras de ciencia ficción a menudo se presenta el viaje al pasado como un modo de cambiar el curso de la historia. La contradicción lógica que ello produce suele ejemplarizarse con la llamada «paradoja del abuelo», en la que una persona viaja al pasado y

mata a su abuelo antes de que pueda conocer a la que habría sido su abuela. Ello impedirá que el viajero nazca, por lo que no podrá viajar al pasado y matar a su abuelo, de modo que sí nacerá... y así sucesivamente.

En *The Big Bang Theory* hay un episodio en el que nuestros protagonistas compran una reproducción de la máquina para viajar en el tiempo de una de sus películas favoritas, un filme de los años 1960 que protagonizó Rod Taylor y que estaba basado en *La máquina del tiempo*, la novela de H.G. Wells. A pesar de que inicialmente están muy contentos con la adquisición, que Leonard consigue en una subasta *online*, más tarde este llega a la conclusión de que nunca conseguirá conquistar a una chica como Penny mientras siga haciendo cosas como comprar máquinas del tiempo. Desanimado y triste, reflexiona sentado en la máquina del tiempo cuando Sheldon le sorprende:

- Sheldon: ¿Por qué configuraste la máquina para viajar a anteaer?
- Leonard: Porque quiero regresar y evitar comprar una máquina del tiempo.
- Sheldon: No puedes, si fueras a evitarte comprarla en el pasado, no la tendrías disponible en el presente para viajar al pasado y evitarte comprarla, ergo aun la

tendrías. Es un clásico error de viajero en el tiempo novato.

- Leonard: ¿Puedo regresar y evitarte explicármelo?
- Sheldon: Misma paradoja. Si fueras a viajar en el tiempo y, digamos, dejarme inconsciente, no tendrías la conversación que te irritó, motivándote a regresar y dejarme inconsciente.
- Leonard: ¿Y qué sucede si te dejas inconsciente ahora?
- Sheldon: No cambiaría el pasado.
- Leonard: Pero haría el presente mucho más agradable.

Los dos personajes siguen hablando, y Sheldon le demuestra que la tesis que lo ha llevado a desear no tener la máquina del tiempo no es válida, ya que la adquisición de la máquina no tiene relación directa con el hecho de que Leonard no consiga conquistar a Penny. En cambio, Leonard insiste en que debe cambiar sus aficiones para poder gustar a Penny. Para Sheldon (y el tiempo le dará la razón) esto no es necesario. Pero volvamos ahora a la cuestión de las paradojas.

En algunas obras de ciencia ficción se intenta evitar la paradoja temporal haciendo que los viajeros sean solo observadores o evitando que efectúen cambios importantes en el pasado (este es uno de los problemas que tiene Marty McFly en la trilogía *Regreso al futuro*), pero el efecto mariposa nos muestra que

incluso ínfimos cambios pueden causar con el paso del tiempo grandes alteraciones, como reflejan algunas historias del género, por ejemplo el cuento *El ruido de un trueno*, del escritor estadounidense Ray Bradbury, en el que los viajeros en el tiempo adoptan medidas para no alterar el pasado, pero accidentalmente uno de ellos aplasta con su bota una mariposa y al regresar al presente descubren que este ha cambiado significativamente)⁵.

La teoría de los universos paralelos, que vimos en el capítulo sobre el gato de Schrödinger, ofrece una posible solución a la paradoja del abuelo (y otras relacionadas), ya que, según esta interpretación de la mecánica cuántica, cuando el viajero mata a su abuelo lo que hace es crear una nueva rama temporal en la que él no llega a nacer, paralela al universo en el que sí existe (en realidad, la división se produciría ya en el mismo momento en que el viajero llegara al pasado).

En ciencia ficción los viajes en el tiempo son posibles generalmente gracias a artefactos de diversos

tipos: cabinas telefónicas en *Doctor Who*, automóviles en *Regreso al futuro*, una rueda congelada en *Perdidos*, giroscopios en *Terminator*, etc. Estas máquinas suelen estar diseñadas para transportar al viajero (con o sin la máquina, según el caso) a determinada fecha, pero suelen obviar un problema. La Tierra gira de modo continuo sobre sí misma y alrededor del Sol, que a su vez sigue la rotación de la Vía Láctea, la cual también se desplaza con respecto al promedio de otras galaxias cercanas. Por tanto, si la máquina de tiempo envía al viajero a otro tiempo, pero en el mismo lugar del espacio, aquel acabará en el vacío sideral. Para evitarlo, la máquina debería calcular con total precisión las coordenadas espaciales del punto de la Tierra en el momento exacto de destino.

Incluso así, existe otro problema. Parece razonable pensar que el desplazamiento espaciotemporal, como cualquier desplazamiento, se producirá de modo continuo, es decir, las coordenadas espaciotemporales variarán de modo progresivo de la posición

inicial a la final (dicho de otra manera, el viajero no se desmaterializará repentinamente en un lugar para materializarse instantáneamente en otro). Ello implica que, aunque el desplazamiento sea muy rápido, en los yoctosegundos⁶ iniciales el viajero compartirá parcialmente la ubicación que ocupaba antes de partir, por lo que se producirá una violenta colisión consigo mismo que le destruirá.

Paradojas al margen, una idea que en ocasiones se propone como una posible manera de viajar al pasado es superar la velocidad de la luz. Una manera intuitiva de verlo es la siguiente. Cuando voy a pie o en coche, mi velocidad no es muy distinta de la del resto de las personas, por lo que no me veo afectado apreciablemente por el efecto relativista de la dilatación del tiempo. Una hora de mi vida se corresponde con una hora de la vida del resto de las personas. Si voy en avión, la dilatación temporal que experimento ya podría ser medida con un reloj atómico, pero resulta todavía insignificante. Si

⁵El cuento de Bradbury fue publicado en 1952, dos décadas antes de que el matemático y meteorólogo estadounidense, pionero de la teoría del caos, Edward Lorenz, popularizara el concepto «efecto mariposa» en su conferencia *Predictability: Does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas?* (Previsibilidad: ¿Puede el aleteo de una mariposa en Brasil provocar un tornado en Texas?).

⁶Un yoctosegundo es un cuatrillonésimo de segundo (10^{-24} s). Otros prefijos del Sistema Internacional para cantidades muy pequeñas son nano (10^{-9}), pico (10^{-12}), femto (10^{-15}), atto (10^{-18}) y zepto (10^{-21}).

pudiera viajar en una nave espacial a 0,866 veces la velocidad de la luz, cada día en la nave se correspondería con 2 días en la Tierra, y a medida que la velocidad de la nave se acercara a la de la luz, mi tiempo transcurriría cada vez más lentamente, hasta el punto de que si pudiera alcanzar la velocidad de la luz mi tiempo se detendría (como sucede a los fotones). Entonces, si la «velocidad» de mi tiempo ha ido disminuyendo a medida que aumentaba la velocidad de la nave, hasta llegar a cero, ¿qué cabría esperar si la nave superara la velocidad de la luz? Que mi tiempo pasara a ser negativo, es decir, que yo empezaría a viajar hacia atrás en el tiempo.

Por ahora tal idea está más cerca de la ficción que de la ciencia, y la idea generalizada entre los científicos es que la velocidad de la luz es un límite que es imposible superar. A pesar de ello, en 1967 el físico Gerald Feinberg propuso la existencia de los taquiones, unas partículas hipotéticas más rápidas que la luz. Tales partículas deberían permitir enviar información al pasado, pero su existencia no ha sido nunca detectada.

La navegación espacial

Desde que el 12 de abril de 1961 el cosmonauta ruso (soviético) Yuri Gagarin se convirtiera en el primer humano en orbitar la Tierra, los viajes espaciales tripulados han ido siendo algo habitual, hasta el punto de que la estación espacial internacional ya lleva ocupada permanentemente más de 16 años⁷. De hecho, *The Big Bang Theory* ha tenido a uno de sus personajes en el espacio a través de la trama de Howard Wolowitz, que formó parte en la ficción de la Expedición 31 de la Estación Espacial Internacional acompañado de un astronauta real, Mike Massimino⁸. Aunque la experiencia es retratada como desastrosa para el personaje, que es víctima de bromas pesadas de sus compañeros y siente como si regresara a sus años de instituto en el espacio, a su regreso irá recordando constantemente a los demás que él es el único que ha viajado en el espacio⁹, cosa que dice mucho de la mística heroica que envuelve en nuestra cultura a la figura del astronauta.

Hay personas que están dispuestas a pagar grandes cantidades de dinero por formar parte de esta mística, lo que explica que, entre 2001 y 2009, hubo siete personas que pagaron

entre 20 y 30 millones de dólares para ser turistas espaciales de la compañía privada (Space Adventures) que los envió en diversos vuelos orbitales. Parece que viajar al espacio pueda estar al alcance de todos y que los viajes a otros astros son tan solo cuestión de ampliar la capacidad y la potencia de las naves utilizadas, pero la realidad no es tan simple. Antes que nada, conviene que repasemos unos conceptos básicos de mecánica aplicada a la navegación espacial:

- Un objeto no sometido a ninguna fuerza externa continuará indefinidamente en su estado de reposo o movimiento. Es decir, si una nave está situada en una zona del espacio alejada de perturbaciones gravitatorias, continuará moviéndose a la misma velocidad sin que sea necesario ningún tipo de propulsión. Ello contrasta con lo que sucede en la Tierra, donde los vehículos necesitan el funcionamiento constante de un motor para mantener su velocidad, debido a que el rozamiento con el aire y con el suelo genera una fuerza que los frena.
- Si aplicamos una fuerza F a un cuerpo de masa m , este experimenta una aceleración a

⁷En el momento de redactar este texto (junio de 2017).

⁸Temporada 5, episodio 24.

⁹Temporada 6, episodio 5.

directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a su masa, según la fórmula

$$a = \frac{F}{m}.$$

- Dos cuerpos de masas m_1 y m_2 separados por una distancia r experimentan una atracción mutua F que viene dada por la fórmula

$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

en la que G es la constante de gravitación universal. Esto es lo que genera los campos gravitatorios alrededor de los astros. En el caso de la Tierra, un objeto en su superficie a nivel del mar (en el vacío, para evitar el rozamiento del aire) caerá con una aceleración constante de $9,81 \text{ m/s}^2$.

- Un cuerpo que gira con una velocidad v alrededor de un punto (p. ej., una bola de masa m sujeta a uno de los extremos de una cuerda de longitud r cuyo otro extremo se mantiene fijo) experimenta una fuerza centrípeta F (que tira de la cuerda) que viene dada por la fórmula

$$F = \frac{mv^2}{r}.$$

- En un satélite u otro objeto que gire alrededor de la Tierra en una órbita circular estable, ambas fuerzas (la atracción gravitatoria y la fuerza centrípeta) se contrarrestan, lo que nos permite igualar las dos fórmulas y ver que el radio r de la órbita y la velocidad v de desplazamiento están ligados por la ecuación

$$v = \sqrt{\frac{G \times M}{r}},$$

siendo M la masa de la Tierra ($5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$). A cada radio le corresponde una determinada velocidad. Por ejemplo, los satélites geoestacionarios (que giran a la misma velocidad angular que la Tierra, por lo que desde la superficie terrestre los vemos como si estuvieran inmóviles¹⁰) deben hallarse todos a una altura de 35.786 km sobre el nivel del mar (que corresponde a un radio orbital de 42.164 km).

- Para llevar una nave espacial a su órbita es necesario, pues, por una parte, elevarla hasta la altura correspondiente venciendo la fuerza de la gravedad, y por otra proporcionarle la velocidad

tangencial que requiere la órbita de aquella altura (en la práctica, ambas operaciones se combinan produciendo una inclinación progresiva para minimizar el combustible necesario). La energía necesaria será la suma de ambos trabajos¹¹ y se expresa, de modo aproximado, por la fórmula que el ruso-soviético Konstantin Tsiolkovsky, pionero de la teoría astronáutica, desarrolló en 1897 para los cohetes:

$$\delta v = v_e \ln\left(\frac{m_0}{m_1}\right),$$

siendo δv el incremento de velocidad alcanzado, v_e la velocidad de expulsión de los gases (que depende del tipo de propulsor químico utilizado), y m_0 y m_1 las masas inicial y final del cohete (la masa final corresponde a la carga útil que llegará a destino, mientras que la masa inicial en su mayor parte corresponde al combustible necesario para el viaje).

- Una vez que la nave se halla en su órbita, no requiere más combustible que el necesario para eventuales ajustes en la trayectoria

¹⁰Ello resulta útil para la transmisión de televisión directa a los hogares (satélites Astra, Intelsat y otros), ya que basta una antena parabólica orientada de modo fijo al punto del espacio en el que está el satélite cuya señal deseamos captar.

¹¹Las órbitas más usadas suelen estar a unos 640 km de la superficie terrestre, que corresponden a una velocidad orbital de unos 7,5 km/s. Dado que la Tierra gira sobre sí misma con una velocidad tangencial de 466 m/s en el ecuador, para aprovechar esta velocidad y disminuir así el combustible necesario generalmente se producen los lanzamientos en dirección al este y desde una zona no demasiado alejada del ecuador.

o para compensar la fricción de las capas altas de la atmósfera.

Si en la fórmula de Tsiolkovsky despejamos la masa inicial, obtenemos

$$m_0 = m_f e^{\frac{\Delta v}{v_e}},$$

es decir, el combustible necesario es proporcional a la masa de la carga útil m_f , pero crece de modo exponencial con los incrementos de velocidad Δv necesarios para la trayectoria deseada. Ello nos plantea el primero de los dos grandes problemas a los que debemos enfrentarnos si queremos realizar viajes espaciales de larga distancia: el coste. Por ejemplo, actualmente, para enviar tres astronautas a la estación espacial internacional que orbita la Tierra se usan cohetes Soyuz de 175 t (toneladas), pero para enviar el mismo número de personas a la Luna fue necesario el Saturn V, de 2.800 t (16 veces más). Resulta, pues, necesario determinar para cada viaje la trayectoria que minimice el consumo de combustible. Las dos técnicas más utilizadas para los viajes interplanetarios son las órbitas de transferencia de Hohmann y la asistencia gravitacional (u honda gravitacional).

Una órbita de transferencia de Hohmann es una órbita elíptica

cuyos vértices pasan tangencialmente por las órbitas del planeta de origen y el de destino, y tiene la propiedad de que es la trayectoria que requiere la mínima energía para ir de uno a otro planeta (únicamente el impulso inicial necesario para pasar de la órbita terrestre a la de transferencia, y otro al final para dejar esta y entrar en la órbita del planeta de destino). Evidentemente, debe calcularse el momento de partida de manera que el planeta de destino se encuentre en la posición adecuada para coincidir con la llegada de la nave. La figura 3 lo explica de un modo gráfico.

La maniobra conocida como asistencia gravitacional (u honda gravitacional) aprovecha la atracción gravitatoria de un cuerpo celeste para variar la dirección y la velocidad de una nave. Fue ideada en 1962 por el matemático estadounidense Michael Minovitch, que entonces era estudiante de la Universidad de California, en Los Ángeles. El mejor ejemplo de aplicación de esta técnica es el viaje de las dos naves Voyager, lanzadas ambas en 1977, aprovechando determinada posición planetaria, y que actualmente prosiguen su viaje más allá del sistema solar (la Voyager 1 está actualmente¹² a más de 21.000

Figura 3. Órbita de transferencia de Hohmann entre la Tierra y Marte.

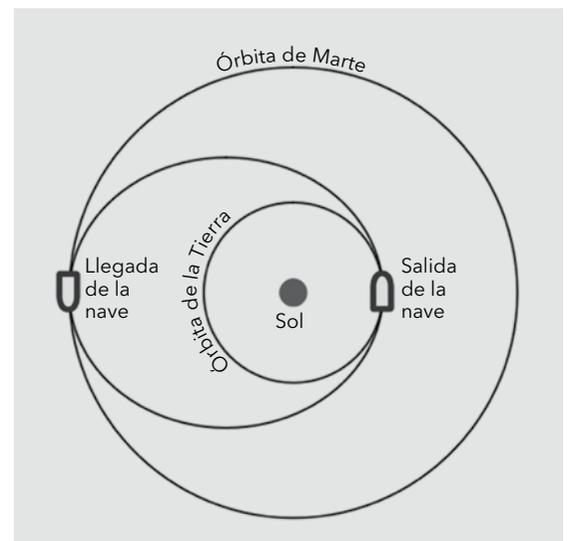
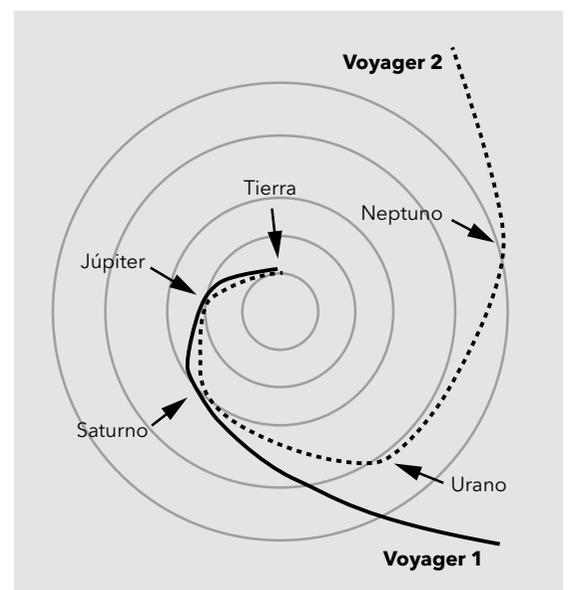


Figura 4. Asistencia gravitatoria usada por las naves Voyager 1 y Voyager 2.



¹²En el momento de redactar este texto (junio de 2017).

millones de km del Sol, y la Voyager 2 a unos 17.000 millones de km, mientras que Neptuno, el planeta más alejado, está a una distancia media de solo 4500 millones de km). La figura 4 muestra la trayectoria de ambas naves y cómo aprovecharon su paso cerca de Júpiter, Saturno y, en el caso de la Voyager 2, también Urano y Neptuno.

Aunque el viaje de las naves Voyager se inició hace 40 años, no han recorrido siquiera la milésima parte de la distancia a la que se encuentra la estrella más cercana a la Tierra (Proxima Centauri, a 4,2 años luz), lo que nos conduce al segundo de los problemas a que nos referíamos: el tiempo necesario para llegar a otros sistemas estelares (nuestra galaxia, la Vía Láctea, tiene un diámetro de unos 100.000 años luz, y otras galaxias se hallan a millones de años luz). Aun suponiendo que dispusiéramos de la capacidad técnica y económica para construir una nave que pudiera llevar a un grupo de astronautas y mantenerlos con vida, un viaje de miles de años no parece una idea muy atractiva para los pasajeros ni para el resto de la humanidad.

La primera solución aparente es el aumento de la velocidad de la nave.

Supongamos que deseamos enviar una expedición al sistema planetario de la estrella TRAPPIST-1, situada a unos 39 años luz en la constelación de Acuario, que contiene algunos planetas con características similares a las de la Tierra, con vistas a su posible colonización. Para reducir el tiempo del trayecto, la mayoría del viaje se realiza a una velocidad del 87% de la de la luz (alcanzada tras 300 días de aceleración a 1 G)¹³, con lo que el recorrido dura unos 46 años terrestres (debido al efecto relativista, para los navegantes y los relojes de la nave solo transcurren 23 años). Aun así, los primeros resultados de la expedición no llegarían a la Tierra hasta 85 años después del lanzamiento (46 años de viaje de la nave más 39 años de las señales de radio con los informes).

Agujeros de gusano

Según lo que llevamos visto en este capítulo, parecería que nuestras posibilidades de viajar por el espacio están limitadas a pequeñas excursiones por nuestro entorno inmediato. Sin embargo, olvidamos que el espacio-tiempo no es el escenario estático y uniforme que percibimos con nuestros sentidos, sino algo muy distinto. Es disculpable caer en este error, ya

que incluso el mismo Einstein escribió en su autobiografía: «¿Por qué fueron necesarios 7 años para construir la relatividad general? La razón principal radica en el hecho de que no resulta fácil librarse de la idea de que las coordenadas deben tener un significado métrico inmediato». Es decir, las coordenadas espaciotemporales no determinan directamente las distancias entre dos puntos.

Las ecuaciones de la relatividad general publicadas por Einstein en 1915 establecen relaciones (ecuaciones en derivadas parciales) entre la curvatura del espacio-tiempo y la masa y la energía que en él se encuentran, así como la variación de estos valores. Tales ecuaciones permiten diversas soluciones que muestran tipos de fenómenos que pueden producirse en el espacio-tiempo. La primera de estas soluciones fue descubierta aquel mismo año por el alemán Karl Schwarzschild, y describía la geometría espaciotemporal en la proximidad de una masa (tal solución constituiría la base de los agujeros negros). Al año siguiente, el austriaco Ludwig Flamm, basándose en el trabajo de Schwarzschild, desarrolló otra solución simétrica a la anterior (un agujero blanco) y posibilitaba cierto tipo de conexión entre estas

¹³ La aceleración a 1 G tiene la ventaja adicional de que genera en el interior de la nave un efecto similar al de la gravedad terrestre.

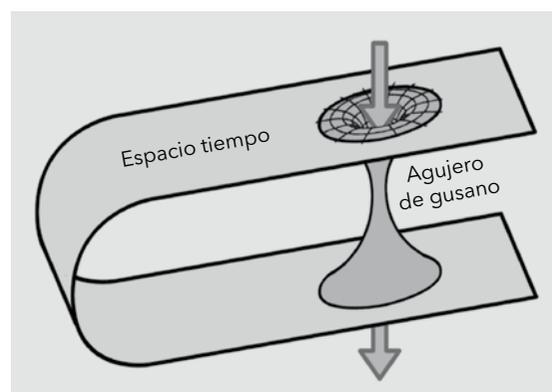
dos singularidades, pero su trabajo pasó desapercibido.

En el capítulo dedicado al gato de Schrödinger vimos que Einstein no creía que la interpretación de Copenhague para la mecánica cuántica fuera la correcta, especialmente en lo relativo a la acción a distancia entre partículas entrelazadas, y que trabajó con Nathan Rosen para explicarla por otras vías. En un artículo de 1935 firmado por ambos¹⁴ propusieron que un sistema de muchas partículas puede ser representado por una solución de las ecuaciones relativistas que corresponde a dos láminas idénticas unidas mediante puentes (atajos entre dos puntos del espacio tiempo). Fue John Archibald Wheeler quien en 1957 introdujo el término «agujero de gusano» para denominar a estos hipotéticos túneles (fig. 5), y los físicos Michael Morris, Kip Thorne y Ulvi Yurtsever quienes en 1987 publicaron dos artículos en los que proponían su utilización para desplazamientos a grandes distancias, e incluso viajes en el tiempo.

Cuando Howard y Raj descubren que Sheldon tiene un proyecto secreto que realiza en una pequeña habitación, deciden espiarlo a través

de una cámara. Así es como descubren que Sheldon ha logrado crear un agujero de gusano: lo ven abriendo el agujero y echando un vistazo a su interior para luego ser atacado por un alienígena. En realidad, se trata de una broma de Sheldon que, celoso de su intimidad, ha cambiado la fuente del vídeo de la cámara para realizar esta broma¹⁵. Y es que, aunque los agujeros de gusano han sido utilizados en muchas obras de ciencia ficción, incluso en el caso de que correspondan a una posibilidad real, las dificultades que comporta su utilización parecen insuperables. El principal problema es que un agujero de gusano es extremadamente inestable y se colapsa en menos tiempo del que necesita un rayo de luz para atravesarlo. También la introducción de una ínfima cantidad de materia bastaría para destruirlo, lo que imposibilita su uso para el viaje espacial. Se ha planteado que una posible solución a estos problemas sería el uso de ingentes cantidades de materia exótica con energía negativa (ambos son conceptos teóricos cuya existencia real no se ha demostrado). Incluso solucionando estos problemas, hay que tener en cuenta las extraordinarias fuerzas a las que estarían sometidos los viajeros.

Figura 5. Desplazamiento a través del espacio tiempo en un agujero de gusano.



Superhéroes

En general, las obras de ciencia ficción suelen revestir sus elementos fantásticos con una capa de ciencia real que provoca en sus destinatarios la sensación de estar asistiendo a algo que, si bien no es real en el momento actual, puede llegar a serlo en un futuro más o menos lejano. Por el contrario, los poderes de los superhéroes (aunque a veces sean considerados también como ciencia ficción) son fantasías alejadas de las leyes de la naturaleza. El autor y crítico estadounidense Orson Scott Card lo expresó así¹⁶: «La ciencia ficción trata de lo que podría ser, pero no es; la fantasía trata de lo que no puede ser». Hablar de la ciencia de los superhéroes es, pues, exponer

¹⁴The particle problem in the General Theory of Relativity.

¹⁵Temporada 6, episodio 8.

las incongruencias a las que nos conducen sus superpoderes.

Flash

El personaje de Flash pertenece a ese grupo de superhéroes que originalmente era una persona con unas características normales y en un determinado momento, por una circunstancia accidental, adquiere una capacidad extraordinaria, en este caso la de moverse a elevadas velocidades. En los cómics, tal capacidad es atribuida a una «fuerza de la velocidad», un concepto algo confuso que vendría a ser un campo de fuerza extradimensional al cual solo algunos superhéroes tienen acceso. En realidad, la fuerza de la velocidad es un intento de explicar las evidentes contradicciones que se producen al presentar a un humano viajando a las velocidades de Flash.

Veamos un ejemplo que se reproduce con variaciones en diversos lugares del cómic. Un ciclista es atropellado por un vehículo y lanzado al aire. Flash, que en el instante del impacto se halla a unos 100 metros de distancia, se dirige a toda velocidad al lugar del accidente y atrapa al ciclista en el aire para dejarlo en lugar seguro. Incluso aceptando el superpoder de Flash, ¿podría realizar tal hazaña?

El tiempo máximo de que dispone Flash para ello es del orden de unas tres décimas de segundo, y en este tiempo debe recorrer los 100 m acelerando de modo continuo. La fórmula del movimiento acelerado nos dice que

$$e = \frac{1}{2} a \times t^2,$$

y por tanto la aceleración necesaria es

$$a = \frac{2e}{t^2} = \frac{2 \times 100}{0,3^2} \cong 2200 \frac{m}{s^2}.$$

Supongamos que Flash lleva un excelente calzado con suela de goma adherente, que presenta un coeficiente de rozamiento con el suelo de valor 1, por lo que puede proporcionar una fuerza de agarre aproximada de

$$Fr = \mu \cdot m \cdot g = 1 \cdot 100 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cong 1000 \text{ N}.$$

Esta fuerza será la máxima que podrá imprimir Flash, pues, de superarla, sus zapatillas simplemente resbalarían, lo que determinará la aceleración máxima que puede alcanzar:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1000 \text{ N}}{100 \text{ kg}} = 10 \frac{m}{s^2},$$

que es 220 veces inferior a la requerida para salvar al ciclista.

No acaba ahí la cosa. La velocidad final de Flash cuando alcanza al ciclista es:

$$v = a \cdot t = 2200 \frac{m}{s^2} \cdot 0,3 \text{ s} = 660 \frac{m}{s} \cong 2400 \frac{km}{h},$$

y por tanto el impacto que el ciclista recibirá será unas 40 veces más fuerte que el golpe con el vehículo. El propio Flash no saldrá mejor parado. Durante las tres décimas de segundo, su organismo está sometido a una aceleración de $2200 \text{ m/s}^2 \cong 220 \text{ G}$, y ningún cuerpo humano puede resistir una aceleración superior a 80G, ni que sea por un tiempo tan breve como este. Flash podría evitar la brutalidad del choque con el ciclista dividiendo su recorrido en dos partes, acelerando en la primera mitad y frenando en la segunda, a fin de que en el momento del contacto su velocidad fuera cero. Sin embargo, ello doblaría la aceleración necesaria (y el posterior frenado). Además, al superar los 1230 km/h Flash generaría una explosión sónica.

Habría también otros aspectos que tener en cuenta si una persona se desplazara a tal velocidad. Por ejemplo, si una pieza de la bicicleta ha salido disparada en el accidente y Flash choca con ella a 2400 km/h, el impacto podría ser fatal. Además, la rapidez de reacción que se necesita para esquivar los

¹⁶ En su libro *How to write Science Fiction and Fantasy* (Cómo escribir ciencia ficción y fantasía).

obstáculos y llegar al punto justo está por encima de la velocidad de transmisión de los impulsos nerviosos en el organismo humano. Ello hizo que la idea de la fuerza de la velocidad se fuera modificando a lo largo de los años para intentar explicar este y otros aspectos. Así, la fuerza no solo proporciona velocidad, sino también unos reflejos extraordinarios (Flash puede tomar decisiones en una fracción infinitesimal de segundo); también crea un aura que protege al superhéroe del mundo exterior (aura que se extiende a la persona a la que está ayudando), rápida recuperación de las heridas y muchas otras características.

Probablemente la mayor velocidad alcanzada por Flash se produjo cuando salvó a 532.000 personas en Corea del Norte. Según cuenta el cómic en tres viñetas, a las 13:57 h una cabeza nuclear explotó en la ciudad de Chongjin, pero sus 532.000 habitantes aparecieron, sanos y salvos, una cienmilésima de microsegundo más tarde en lo alto de una colina a más de 50 km del lugar de la explosión. Flash los había llevado allí, de uno en uno y a veces de dos en dos, con su supervelocidad.

Esto representa unos 350.000 viajes de ida y vuelta de unos 110 km cada uno, con un total de 38.500.000 km completados en 10^{-11} s. Incluso suponiendo una aceleración infinita

(es decir, que Flash adquiere su velocidad máxima instantáneamente), obtenemos una velocidad de $3,85 \times 10^{18}$ km/s, que equivale a 13 billones de veces la velocidad de la luz.

Por supuesto, los protagonistas de *The Big Bang Theory* son perfectamente conscientes de que las habilidades de sus superhéroes favoritos son en su mayoría imposibles desde un punto de vista científico. Pero como son su válvula de escape, un entretenimiento con el que disfrutan y se lo pasan en grande, no les exigen un gran rigor en este sentido. Podríamos decir que, en el momento en que miramos a los superhéroes de esta manera, los que fallamos somos nosotros. Hay ámbitos en los que hay que dar rienda suelta a la fantasía y disfrutar de las historias tal como son.

De todos modos, Sheldon, Leonard, Howard y Raj a menudo se enzarzan en divertidas discusiones en las que hablan de los superhéroes en términos científicos, uniendo así sus dos pasiones. Un análisis parecido al que nosotros hemos hecho sobre la velocidad de Flash ellos lo hicieron sobre las habilidades de Supermán:

– Leonard: Si no tienes otros planes, ¿quieres venir con nosotros... a una maratón de comida Thai y películas de Supermán?

– Penny: ¿Una maratón? ¿Cuántas películas de Supermán hay?

– Sheldon: Estás bromeando, ¿verdad?

– Penny: Me gusta esa en que Lois Lane cae del helicóptero y Supermán vuela y la atrapa. ¿Cuál era esa?

– Sheldon, Leonard y Howard (a la vez): La uno.

– Sheldon: ¿Te das cuenta de que esa escena está plagada de inexactitudes científicas?

– Penny: Sí, ya sé que los hombres no vuelan.

– Sheldon: No. Supongamos que pudieran. Lois Lane está cayendo con un índice de aceleración de 10 metros por segundo, cada segundo. Supermán vuela hacia ella para salvarla extendiendo sus dos brazos de acero. La Srta. Lane, que está cayendo aproximadamente a 200 km por hora, choca con ellos y es inmediatamente cortada en tres partes iguales.

– Leonard: A no ser que Supermán se ajuste a su velocidad y desacelere.

– Sheldon: ¿En qué espacio, señor? Ella está a 60 cm del suelo. Francamente, si él la amara, la habría dejado estrellarse en el pavimento. Habría sido una muerte más piadosa.

- Leonard: Perdóname, pero todo tu argumento se apoya en el supuesto de que el vuelo de Superman es una proeza de fuerza.
- Sheldon: ¿Te estás oyendo? Está claramente establecido que su vuelo es una proeza de fuerza. Es una extensión de su capacidad para saltar grandes edificios, una capacidad que obtuvo de la exposición al sol amarillo de la Tierra.
- Howard: ¿Y cómo vuela de noche?
- Sheldon: Por una combinación de la reflexión solar de la Luna y la capacidad de las células cutáneas kryptonianas para almacenar energía.
- Penny: Me voy a duchar.
- Leonard: Tengo aquí 2600 cómics de Superman. Te desafío a encontrar una sola referencia a las células cutáneas kryptonianas.
- Sheldon: Desafío aceptado.¹⁷

¹⁷Temporada 1, episodio 2.