La ciencia en las series de televisión

Ramon Cererols
Toni de la Torre

DR. ANTONI ESTEVE
FUNDACIÓN

CUADERNOS 49

CUADERNOS 49

La ciencia en las series de televisión

Ramon Cererols
Toni de la Torre

DR. ANTONI ESTEVE
FUNDACIÓN

©2021, Fundació Dr. Antoni Esteve
TORRE ESTEVE
Passeig de la Zona Franca, 109
08038 Barcelona
Teléfono: 93 433 53 20
Dirección electrónica: fundacion@esteve.org
http://www.esteve.org

Imagen de la portada: Suxinsu

ISSN edición impresa: 2385-5053
ISSN edición electrónica: 2385-5061
ISBN: 978-84-124247-0-6
Depósito legal: B 13830-2021
Impreso en España

Fundación Dr. Antoni Esteve

La Fundación Dr. Antoni Esteve nació para honrar la figura de este farmacéutico, investigador y emprendedor, centrándose específicamente en un elemento fundamental de su personalidad: el amor y el respeto por la ciencia. Establecida por sus hijos en 1982, la Fundación es una institución sin ánimo de lucro que orienta su actividad hacia la ciencia en general y la farmacoterapia en particular.

El Dr. Antoni Esteve i Subirana nació en Manresa en 1902. Licenciado en Farmacia, fue el quinto boticario de una estirpe de farmacéuticos de esta ciudad. Comenzó preparando especialidades medicinales en la rebotica de su farmacia, pero el crecimiento de esta actividad, juntamente con su saber científico, su espíritu industrial y la entusiasta colaboración de su esposa, lo llevaron a fundar, en 1929, la que sería una importante empresa farmacéutica.

La Fundación promueve la comunicación entre los profesionales mediante la organización de simposios internacionales, mesas redondas y grupos de discusión. A su vez, también contribuye a difundir el trabajo científico de calidad otorgando cada 2 años el Premio de Investigación Fundación Dr. Antoni Esteve al mejor artículo sobre farmacología publicado por autores españoles.

Desde la Fundación también se promueve la comunicación científica a través de diferentes

publicaciones. Las *Monografías Dr. Antoni Esteve* resumen los contenidos de las mesas redondas, y los *Cuadernos de la Fundación Dr. Antoni Esteve* abarcan temas muy diversos sobre el mundo de la ciencia. Sus actividades también se reflejan en artículos en revistas científicas. Por último, la colección titulada *Pharmacotherapy Revisited* reproduce aquellos artículos que, según el criterio de científicos de prestigio, han sido clave para el desarrollo de alguna disciplina de la farmacoterapia.

Por otro lado, los cursos de la Fundación Dr. Antoni Esteve pretenden potenciar competencias que no están suficientemente cubiertas en los programas de grado universitario. Estos cursos se organizan en su mayoría en España, pero también en el extranjero. Una actividad a medio camino entre la docencia y la comunicación científica son los *Meet the expert,* encuentros entre un científico extranjero de especial renombre en su campo de trabajo y un grupo restringido de investigadores españoles.

Finalmente, pero no menos importante, con estas actividades la Fundación colabora con una gran diversidad de profesionales biosanitarios y comparte proyectos con universidades, hospitales, sociedades científicas, otras instituciones de investigación y organismos que dan soporte a la investigación.

Índice

Presentación **8**

Prólogo **10**
Salvador Macip

¿En un futuro, será posible la vida tecnológica de *Black Mirror*? **12**

¿Podrían existir los dragones de *Juego de Tronos*? **24**

¿Existe la metanfetamina azul de *Breaking Bad*? **34**

¿Podríamos viajar al mundo del revés de *Stranger Things*? **44**

¿Por qué todo el mundo adora a Baby Yoda? **52**

Daleks, cylons, androides... ¿Es inevitable su rebelión? **58**

¿Tienen base científica los fenómenos de *Fringe*? **70**

¿Podría existir una isla como la de *Lost*? **76**

¿Tiene razón Sheldon Cooper al tener pánico a los gérmenes? **84**

Presentación

Toni de la Torre y Ramon Cererols

«La ciencia es simplemente la palabra que usamos para describir un método para organizar nuestra curiosidad», dijo en una ocasión Tim Minchin, un comediante australiano conocido sobre todo por sus espectáculos musicales. El lector podría pensar que empezar un ensayo sobre ciencia con una cita de un comediante es poco ortodoxo. Pero es que este es un ensayo poco ortodoxo, porque vamos a hablar sobre ciencia desde el ámbito de la cultura popular. De hecho, sobre el ámbito de la cultura popular que mayor auge ha experimentado en los últimos años: las series de televisión. No obstante, si lo prefieren, utilizaremos una cita más esperable en un ensayo sobre ciencia y recordaremos que Albert Einstein decía: «No tengo ningún talento especial. Solo soy especialmente curioso».

La curiosidad es para nosotros un punto de partida fundamental. Así que lo que nos hemos propuesto es mirar las series de televisión haciéndonos preguntas, que son probablemente las mismas que se hayan hecho los lectores, y hemos buscado las respuestas que nos da la ciencia. Porque aunque este sea un ensayo poco ortodoxo, eso no significa que no sea riguroso. Navegando entre la ficción y la realidad, hemos desgranado qué parte de esa serie de televisión tan conocida surge de la imaginación de los guionistas y qué parte tiene una base científicamente cierta.

Hemos cuestionado series de todo tipo. Por supuesto, las que se inscriben dentro del género de la

ciencia ficción, como *Black Mirror,* que es la serie con la que abrimos este Cuaderno y una de las más apasionantes de los últimos años, por la amplia variedad de temas que trata y la manera en que logra que su visión del futuro esté anclada en el presente, hasta el punto de que es habitual que la gente comente avances científicos con expresiones como «esto es muy Black Mirror». Pero también hemos abordado géneros que *a priori* no tienen nada de científico, buscando cambiar la mirada del lector en un divertimento apasionante. Hemos buscado ciencia incluso en una serie de fantasía como *Juego de Tronos*. Ya habíamos avisado de que este era un ensayo poco ortodoxo.

La idea es estimular al lector llevándolo por caminos que no se espera, avivando su curiosidad y acercándolo así al conocimiento científico. Como en anteriores Cuadernos similares de la Fundación Dr. Antoni Esteve, la voluntad divulgativa y pedagógica es el objetivo último de esta propuesta.

En las siguientes páginas se habla de series como *Stranger Things, Breaking Bad* y *The Mandalorian,* pero también de conceptos como los agujeros de gusano, la relatividad especial, los universos paralelos y el transhumanismo. Siempre poniéndonos en la piel del lector y ayudándole a cruzar de la pasión por las series a la pasión por la ciencia, y a la inversa, en un camino bidireccional en el que, cuantas más veces se recorre, mejor lo pasa uno viendo series y aprendiendo ciencia.

Prólogo

Salvador Macip
Médico, científico y escritor

Lo recuerdo perfectamente. Tenía siete años y había conseguido entradas para ver la película que todo el mundo esperaba con ansia aquella temporada: *La guerra de las galaxias* (la que con el tiempo acabaríamos llamando *Star Wars Episodio 4: A new hope*). La sala estaba tan llena que nos tuvimos que sentar casi en primera fila, en el extremo derecho de la platea. Se apagaron las luces y enseguida comenzó a sonar la música, y aparecieron las famosas letras del principio que te transportaban a una galaxia muy, muy lejana. Pero lo que me dejó con la boca abierta (literalmente) fue el destructor estelar entrando en escena con un ruido terrible de motores, punteado por los «fiiuuu, fiiuuu» de los cañones iónicos dirigidos a la nave rebelde que intentaba huir.

No fue hasta años después que me di cuenta de que, parafraseando el lema de otra célebre película de ciencia ficción, en el espacio nadie te oye gritar y, por tanto, buena parte de lo que hacía que la escena inicial de *A new hope* fuera tan espectacular era simplemente imposible: ni los destructores estelares ni sus armas harían estos sonidos en el vacío. Fue la época en que descubrí qué era la ciencia ficción *hard,* la que respeta siempre las leyes de la física de nuestro universo, y la diferencia entre lo que escribía gente como Arthur C. Clarke y la mayoría de la fantasía que consumíamos entonces los jóvenes.

Pero pronto entendí que no se trataba de elegir. Vi *2001: A space odissey* y salí tan transformado como la primera vez que presencié cómo un X-Wing se enfrentaba a un Tie Fighter como si fueran aviones de la Primera Guerra Mundial surcando ágilmente los cielos europeos, en lugar de naves flotando torpemente en el vacío cósmico. A partir de entonces, empecé a pasarlo bien con todo tipo de historias de ciencia ficción, ya fueran realistas o exageradas, tanto si los protagonistas podían saltar instantáneamente por el hiperespacio de un punto a otro como si tardaban meses en llegar tan solo al planeta más cercano del sistema solar. Y además, empecé a aprender física casi sin darme cuenta, porque eso me permitía analizar mejor lo que veía y valorar hasta qué punto lo que me contaban podía ser posible.

Somos muchos los que hemos defendido que ciencias y letras no son culturas diferentes, sino las dos caras de una misma, y en ningún sitio es más evidente que en la ciencia ficción. Es aquí donde mejor podemos utilizar la ciencia como punto de partida de una historia o doblegarla de maneras insospechadas para que se adapte a nuestra voluntad. De esta manera soñamos y hacemos soñar, una

generación tras otra, y si es necesario vamos más allá de las restricciones que nos impone la realidad. Esto es cierto ahora más que nunca, porque estamos expuestos constantemente a series de televisión que beben del imaginario de la ciencia ficción. Así hemos conseguido popularizar un género que durante décadas había sido patrimonio casi exclusivo de *geeks* y *nerds*. Y, de este modo, la ciencia está entrando cada vez más en las casas a través de las pantallas.

Por ello, este libro que tienes en las manos es tan divertido, porque funciona como una especie de *making of* de tus series favoritas, que en lugar de estropear la magia de la ficción la aumenta con la sabiduría de la ciencia. Divertido, pero también necesario, porque obras como esta nos permiten entender mejor el mundo que nos rodea y, de esta manera, disfrutarlo más. Y también porque tenemos que empezar de una vez a perder el miedo a la ciencia si queremos sacarle el máximo partido. Aprovechamos, pues, que el mundo audiovisual nos lo está poniendo más fácil que nunca, que hoy en día todo el mundo conoce científicos como Samwell Tarly o Walter White, y hagamos que la ciencia rigurosa llegue a todos con iniciativas tan redondas como este libro.

En las siguientes páginas veremos cómo la realidad virtual que aparece tan a menudo en *Black Mirror* nos permite a los espectadores hablar con confianza de conceptos filosóficos como la conciencia, los universos paralelos y el transhumanismo, que antes habríamos dejado solo a los expertos. También descubriremos la química que hay detrás de la metanfetamina de Heisenberg y de dónde sacó ese seudónimo. Y aunque a todos nos da igual que los dragones de *Daenerys Targaryen* sean en realidad demasiado pesados para levantar el vuelo o que no puedan escupir fuego sin chamuscarse el velo del paladar, seguro que encontraremos apasionante descubrir que tienen un volumen similar al de diez elefantes y, por tanto, deberían volar a 126 km/h para no caer en picado. O que para aplastar un cráneo como hace la Montaña, sería necesaria una fuerza de 2300 N, el doble de la de un humano muy fuerte.

El libro está trufado de pequeñas perlas como estas, que dan relevancia a todo lo que podemos aprender sin darnos cuenta sentados en el sofá. Tenemos que agradecer a los autores que hayan hecho el esfuerzo para explicárnoslo de una manera tan clara y comprensible. Así pues, aprovechemos que tenemos unos guías tan hábiles y expertos para apagar el televisor un momento y adentrarnos sin miedo en esta temporada llena de *cliffhangers* de la maravillosa serie que es la ciencia.

¿En un futuro, será posible la vida tecnológica de *Black Mirror*?

«Esto es muy *Black Mirror*» se suele decir cuando hay alguna noticia o imagen que parece anticipar un futuro terrorífico. Dice mucho del éxito de esta serie de televisión que se la mencione como una referencia casual en una conversación. Dice, sobre todo, que los espectadores han percibido como válida la mirada al futuro que esta antología ofrece episodio a episodio. Implícitamente, también dice que estamos de acuerdo en considerar la vida tecnológica una vida de pesadilla. Y es que el futuro que *Black Mirror* anticipa en cada una de sus entregas es un futuro vinculado a la integración de la tecnología en nuestra vida diaria que lleva a escenarios distópicos en los que el ser humano ha perdido el control de la influencia de la tecnología y ha cambiado su existencia sin posibilidad de retorno. El futuro tecnológico de *Black Mirror* es un futuro que amenaza con destruir la vida tal como la conocemos. La serie se apoya en la inquietud que puede generar en la audiencia la velocidad con que la tecnología ha avanzado en los últimos años y el espíritu acrítico con el que la sociedad ha adaptado estos avances, en forma de productos de consumo como teléfonos móviles, o servicios como las redes sociales o las distintas aplicaciones. Si el espectador está de acuerdo con la tesis de que deberíamos reflexionar sobre la tecnología antes de recibirla con los brazos abiertos, ya tiene un pie puesto en la pesadilla que propone *Black Mirror,* pues lo que hace la serie es basarse en cambios que la tecnología ya ha provocado en el presente (en consecuencia, identificables por la audiencia como reales) para llevarlos más allá y convertirlos en escenarios terroríficos.

Cada episodio de *Black Mirror* es en cierta manera un aviso: si este futuro te da miedo, tenemos que empezar a cuestionar en el presente la rápida implementación que se está haciendo de la tecnología. El espíritu crítico de la serie es uno de sus puntos fuertes, lo que la ha llevado a generar debates entre los espectadores y formar parte de la conversación, como decíamos en el párrafo anterior. Es el producto de la mirada de su creador, el británico Charlie Brooker, que durante muchos años fue crítico de televisión (con un estilo muy mordaz), por lo que está acostumbrado a examinar de forma inquisitiva el mundo que le rodea. Primero lo hacía a través del reflejo que la televisión genera de este mundo, y ahora lo hace a través del reflejo generado por su propia pantalla negra. Es una visión distorsionada de la realidad, tal como se reconoce en el logo de la serie, que recrea una pantalla de teléfono móvil apagada que tiene grietas y resquebraduras, como si hubiera recibido un golpe. Esta pantalla defectuosa es un espejo que nos devuelve una imagen deformada de nosotros mismos y del mundo en que vivimos. Por tanto, lo que hace *Black Mirror* es devolvernos una imagen forzosamente desagradable e incómoda de quienes somos. La sonrisa partida en dos, ojos que no están alineados, arrugas que emergen de forma poco natural… Es un contraste, buscado, con la imagen de perfección que creamos de nosotros mismos en las redes sociales utilizando, precisamente, la tecnología.

Así emerge la pregunta de hasta qué punto la imagen de futuro que nos devuelve *Black Mirror* es una deformación o es una hipótesis plausible. En este capítulo

analizaremos algunas ideas recurrentes de la serie y que forman parte de la pesadilla que construye *Black Mirror,* entrega a entrega, y vamos a analizar, desde la ciencia, la viabilidad de algunas de las ideas que contiene la serie. ¿Es cierto que estamos tan cerca de ese futuro terrorífico? ¿Tiene sentido, teniendo en cuenta lo que conocemos actualmente, pensar en estos avances científicos y tecnológicos como algo inevitablemente negativo? *Black Mirror* no pone el foco en la tecnología en sí misma, sino en el uso (o el mal uso, para ser exactos) que le va a dar el ser humano. «El hombre es un lobo para el hombre.» La serie hace suya esta noción hobbesiana y la cruza con la aceleración del progreso para concluir, utilizando otra cita del filósofo inglés, que «cuando los hombres construyen sobre falsos cimientos, cuanto más construyan, mayor será la ruina». Así, y a pesar de que el objetivo de la crítica de *Black Mirror* es el ser humano/espectador, la existencia de la herramienta tecnológica es fundamental para poder trazar las hipótesis que propone la serie. De hecho, ambos elementos son indivisibles, si se tiene en cuenta que la tecnología creada en la serie responde al deseo del ser humano. Este deseo está muy a menudo relacionado con el anhelo de trascender las limitaciones de la vida humana, y el escenario funesto es precisamente producto del intento de desafiar la naturaleza. Un castigo, si lo queremos concebir así, por la soberbia del ser humano. Una penitencia prometeica consecuencia de la vanidad humana que, como hemos mencionado, está presente en la serie de distintas formas. Y esta no es la única serie en la que encontramos esta idea, como veremos más adelante. De momento, vamos a centrarnos en uno de los escenarios de *Black Mirror* que mejor representan esta ambición arrogante del ser humano y uno de los episodios más populares: *San Junipero*.

¿Será posible el universo de *San Junipero?*

San Junipero es el título del episodio y también el lugar en que se ambienta la historia: una población idílica donde se practica el surf, se toma el sol y se baila en clubes nocturnos. En uno de estos clubes se conocen Yorkie y Kelly, y el episodio se plantea como una historia de amor entre estas dos mujeres que sienten una atracción inmediata. Pero no sería *Black Mirror* si este punto de partida no tuviera un giro tecnológico con múltiples ramificaciones. Resulta que el club nocturno no existe en la vida real, y tampoco el pueblo. San Junipero es una realidad simulada, producto de una tecnología que hace que se pueda experimentar este mundo de forma que no se pueda distinguir del mundo real. En el episodio esta tecnología tiene dos usos distintos que convergen y que aquí vamos a separar para entender mejor las diferencias entre lo que *Black Mirror* especula y la realidad. Por un lado, la tecnología de *Black Mirror* la utilizan personas mayores que pasan en San Junipero cinco horas a la semana. Por otro lado, también existen personas que solicitan que después de su muerte sean trasladadas allí indefinidamente. Para empezar, vamos a ocuparnos de la primera: la creación de una realidad simulada en la que el individuo se puede introducir, abandonando desde un punto de vista sensorial el mundo real en el que vive. Esta es una experiencia que, a pesar de algunas limitaciones que comentaremos, podrá ser alcanzada algún día cuando hayamos conseguido el nivel suficiente de una tecnología que se halla ya en sus rudimentos. Nos referimos a la realidad virtual.

Esta tecnología se define como un entorno artificial que puede ser experimentado a través de estímulos sensoriales producidos generalmente mediante un ordenador y con el cual el participante o participantes pueden interactuar. Es sobre todo con la introducción de la computación cuando esta tecnología, tal como la conocemos a día de hoy, empieza a despegar. La introducción de los ordenadores electrónicos hizo posible que en 1972 General Electric produjera el primer simulador de vuelo computarizado y que en pocos años estos dispositivos fueran mejorando sus capacidades.
El ingeniero Thomas Furness

presentó en 1982 un primer modelo de simulador de vuelo virtual, el Visually Coupled Airborne Systems Simulator. Según su propia descripción, el dispositivo sumergía al piloto en un espacio tridimensional de información gráfica superpuesta al mundo real. A lo largo de la década de 1980, el término «realidad virtual» empezó a ser utilizado para referirnos a esta tecnología. Su acuñación suele ser atribuida a Jaron Lanier, científico de la computación, compositor y artista visual, considerado uno de los padres de la realidad virtual. Fue también en esta década cuando, en paralelo a las aplicaciones de índole práctica, fueron desarrollándose otras de juegos para diversos tipos de dispositivos: arcades, videoconsolas y ordenadores domésticos. Grandes compañías empezaron a desarrollar sus propios dispositivos de realidad virtual y programas de juegos, que gozaban de una aceptación creciente. Su popularidad se tradujo también en la aparición de diversas películas en las que la realidad virtual tenía un papel prominente. Los guionistas, estimulados por las posibilidades narrativas de esta tecnología, construyeron historias en las que los protagonistas se introducen en un mundo virtual. Una de las películas más populares fue *Tron,* un filme de 1982 en el que un programador interpretado por Jeff Bridges acaba atrapado dentro de una interfaz creada por una inteligencia virtual en un ordenador. La película fue escrita por Steven Lisberger y Bonnie MacBird. Entonces ya había una noción terrorífica de la tecnología, como un mundo en el que un ente más inteligente que el ser humano puede atraparlo y condenarlo a una prisión virtual. Esta misma idea se va repitiendo a lo largo del tiempo en películas posteriores más complejas.

La reencontramos en la primera entrega de la trilogía *Matrix,* estrenada en 1999, en la que el mundo simulado es una prisión para los seres humanos controlados por las máquinas. Los hermanos Wachowski, guionistas y directores de la película, convocan el espíritu del Mito de la Caverna de Platón y dan al protagonista la opción de salir del mundo subterráneo, el sensible, y ascender al mundo exterior, de las ideas, del conocimiento, mediante la elección entre una pastilla roja y una azul. Con una, Neo puede seguir engañado por la simulación, y con la otra tendrá acceso a la verdad.
La resistencia del protagonista para negar aquello que percibe con los sentidos como real es lo que lleva a la película a reclamar que, en el momento en que estos sentidos pueden ser engañados con una simulación, lo que es real se difumina. El concepto de realidad pasa a ser relativo. ¿Es menos real por el hecho de ser una simulación? ¿Si lo experimentamos igual que la realidad, qué diferencia tiene con el mundo no simulado? La idea principal de la película puede resumirse en lo que Morfeo dice a Neo: «¿Qué es «real»? ¿Cómo defines «real»? Si hablas de lo que puedes sentir, lo que puedes oler, probar y ver... lo «real» son impulsos eléctricos que tu cerebro interpreta. Este es el mundo que conoces.
El mundo como estaba a fines del siglo XX. Ahora solo existe como parte de una simulación neuro-interactiva llamada Matrix. Has estado viviendo en un mundo de sueños, Neo».

Esta pregunta está en el centro de las ficciones que giran alrededor de los mundos simulados de los últimos años, consecuencia de un nuevo avance de las posibilidades de la tecnología. Con la aparición en 2016 del Oculus Rift, el PlayStation VR y el HTC Vive se inició una explosión de visores (cascos) de realidad virtual que permiten navegar e interactuar con el entorno virtual (Oculus Quest y Rift S, Nintendo Labo VR, HTC Vive Cosmos, Lenovo Mirage Solo, Google Daydream View). Todos estos dispositivos disponen de muchos juegos tanto para uso individual como para competir en internet con otros jugadores, lo que es un gran aliciente para su uso. Los cascos de realidad virtual nos permiten sumergirnos en una realidad ficticia, y la posibilidad de compartir el juego en línea con otros jugadores nos proporciona cierto grado de interacción social, pero lo que podemos conseguir hoy día queda aún muy lejos de lo que ofrece el universo de San Junipero. El entorno virtual se nos muestra a través de la vista (con más o menos calidad) y el

oído, pero no captamos la brisa, el viento, la lluvia, la temperatura, el tacto, el choque con los objetos, etc.

Pero lo que resulta más difícil para la actual realidad virtual es generar la sensación de estar interactuando con una persona real. Las interacciones sociales son muy complejas. Dependen de multitud de pequeños gestos (miradas, actitudes, expresiones faciales, sintonía gestual), algunos de los cuales incluso escapan a nuestra conciencia, y pueden ir acompañados de contactos físicos (apretón de manos, mano en la espalda, abrazo). Más complicado es todavía simular de manera creíble contactos más directos, como bailes, peleas o relaciones sexuales. Nos queda, pues, un largo camino hasta poder crear un entorno virtual como el que propone *Black Mirror.* Pero, ¿hasta dónde hemos llegado en la actualidad? Veamos un ejemplo de una instalación que, como la de este episodio, ofrece a los visitantes la posibilidad de vivir una experiencia con sus amigos. Se trata de The VOID (Vision Of Infinite Dimensions), que cuenta, en el momento de escribir estas líneas, con 12 instalaciones en los Estados Unidos, tres en Canadá, una en Malasia y otra en los Emiratos Árabes. Lo que propone The VOID es combinar la realidad virtual con el mundo real: los mundos digitales están mapeados sobre escenarios reales en los que cada participante puede moverse libremente. Si en su mundo virtual ve un objeto o una pared y alarga la mano para tocarlo, su mano sentirá el contacto real. Si ve una silla podrá sentarse en ella. A la entrada se instala sobre cada jugador un equipo completo: en la espalda un ordenador portátil y una gran batería, alrededor del cuerpo unos chalecos hápticos (táctiles) que vibran y retumban para producir los efectos sensoriales, en la cabeza un visor de realidad virtual con unos potentes altavoces y pequeñas bolas plateadas para el sistema de rastreo automático, así como un sistema de seguimiento de las manos que permite al sistema conocer su posición en todo momento. Los efectos táctiles ayudan significativamente a la sensación de realidad: las explosiones se ven, se oyen y se sienten. De hecho, los primeros intentos en esta dirección los había dado Sega en 1976 en un juego de motocross en el que los jugadores controlaban las motocicletas mediante unas manetas. Cuando se producía un choque, estas vibraban y el jugador percibía el accidente. Los chalecos de The VOID son la evolución de aquel primitivo sistema.

Por supuesto, The VOID está muy lejos de ser una simulación virtual como San Junipero, ni en lo que se refiere al espacio, ni a la continuidad de su universo, ni al número de participantes. Y por supuesto, no es un lugar donde vivir, sustituyendo a la vida real. Lo que es, es un espacio para vivir una experiencia. De hecho, en la actualidad, la realidad virtual no se utiliza como un sustituto de la realidad, en su conjunto, sino que se usa principalmente como entretenimiento (videojuegos, experiencias inmersivas), entrenamiento y formación de profesionales en distintos campos (pilotos de avión, militares, cirujanos), y también para ciertas terapias psicológicas (tratamiento de trastornos de estrés postraumático, fobias, ansiedad, etc.).

¿Podemos perdernos en el mundo simulado?

En otros episodios, *Black Mirror* ha imaginado otras realidades simuladas que, de hecho, están más cerca de lo que permite hoy la tecnología precisamente por centrarse en usos similares a los que se le da hoy. Así, la aplicación de la realidad virtual en los videojuegos forma parte de varios episodios. En todos ellos, la forma en que los jugadores acceden a la realidad simulada es la misma: se sientan en algún lugar donde están cómodos y son conectados a algún tipo de dispositivo que les hace experimentar otra realidad. Este funcionamiento se repite en episodios como *Striking Vipers* o *Playtest*. Esta idea del jugador como sujeto activo en el mundo digital y pasivo en el mundo real es fiel a la manera en que utilizamos la mayoría de los videojuegos a día de hoy, donde el movimiento físico es inexistente porque la acción se desarrolla en la pantalla (aunque

cada vez hay más videojuegos, especialmente en los últimos años, que demandan movimiento por parte del jugador para capturarlo con sus sensores y trasladarlo a la pantalla). La imagen del jugador conectado nos trae, de nuevo, reminiscencias de *Matrix,* donde los protagonistas se tumbaban en unos sillones y se «conectaban» literalmente a la realidad simulada de Matrix. Como en la película de los hermanos Wachowski, la diferencia entre los videojuegos actuales y la realidad simulada de *Black Mirror* se encuentra sobre todo en el grado de inmersión. En el caso de *Striking Vipers* se trata de dos amigos que juegan a un videojuego de lucha. Cuando se conectan al juego, sus ojos se ponen en blanco, evidenciando que han dejado de ver el mundo real y que a partir de ese momento experimentan solo el de la realidad virtual. En el caso de *Playtest,* la inmersión está ayudada por drogas, además de los dispositivos tecnológicos, y colocan al protagonista en un grado de inmersión tan elevado que deja de distinguir entre la realidad y el videojuego de terror que está experimentando. Hay dos preguntas que se repiten en ambos episodios: ¿es posible perderse en la realidad simulada hasta el punto de no poder recordar quiénes somos en verdad? ¿Y qué es la realidad, de hecho, sino lo que sea que experimentamos, sea simulado o no? Estas dos ideas se desarrollan en ambos episodios de forma distinta, entroncando con el uso terapéutico que se da actualmente a la realidad virtual y perdiéndose en el uso del entretenimiento.

En el caso de *Striking Vipers,* las dos identidades (luchadores) que los dos amigos deciden adoptar en la realidad simulada les permiten experimentar una atracción el uno por el otro que en la vida real no se habría producido. Es decir, les permite suprimir la frontera física que en la realidad les impide tener una relación a causa de su orientación sexual. En el caso de *Playtest,* el videojuego al que juega el protagonista es de terror, y este está diseñado para generar la peor pesadilla posible para él. Así, la experiencia del juego le llega a confrontar también conflictos psicológicos profundos relacionados con la culpa y la soledad de su madre. En ambos episodios subyace el miedo a perderse en la realidad simulada, olvidar nuestra identidad y no recordar el mundo real. Esta es una idea que se ha vinculado tradicionalmente a cualquier forma cultural que pueda tener un uso escapista, ya sea la literatura fantástica, los juegos de rol, los videojuegos o, más recientemente, cualquier forma de conversación *online* que nos permita adoptar otra identidad. ¿Puede la nueva identidad absorber nuestra identidad real? ¿Pueden nuestras experiencias con el avatar incidir en nuestra personalidad o nuestras decisiones en el mundo real? *Black Mirror* no incide especialmente en el miedo a perder la noción de la identidad propia en favor de la identidad construida. De hecho, en *Striking Vipers* la realidad simulada acaba conviviendo sin problema con la realidad de los personajes, y gracias a ella pueden acceder periódicamente a una relación que no sería posible sin la tecnología. Esta idea de que la experiencia sensorial que proporciona la realidad virtual y su similitud con la realidad puede darnos experiencias diferentes que percibimos tan reales como la verdadera realidad (de hecho, para el usuario son indistinguibles con la percepción) ya se ha dado en la actualidad en aplicaciones específicas de la realidad virtual.

El neurocientífico David Eagleman, en su empresa Neosensory, diseña dispositivos táctiles que convierten las imágenes y los sonidos del mundo real en patrones de vibraciones, de manera que los ciegos puedan «ver» (por ahora tener una idea de los movimientos a su alrededor) y los sordos «oír» (de momento distinguir sonidos como los de un perro o una ambulancia). Tales dispositivos se han experimentado en distintas partes del cuerpo: rejillas electrotáctiles en la frente o en la lengua, o motores vibratorios en un chaleco, entre otros (en 2020, Neosensory ha empezado a distribuir comercialmente la pulsera Buzz, que permite captar sonidos a través de la piel). Esta

tecnología abre las puertas a ampliar nuestros sentidos, en este caso para las personas ciegas o sordas, pero podría aplicarse al resto de la población, e incluso descubrir las limitaciones que tenemos. Los humanos solo percibimos una mínima parte de lo que hay a nuestro alrededor. Nuestro cuerpo está constantemente atravesado por radiaciones de múltiples frecuencias, de las que solo captamos una reducida franja en forma de distintos colores. Otras especies animales están dotadas de sentidos específicos de los que nosotros carecemos: las abejas captan los campos eléctricos que les indican qué flores aún no han sido polinizadas, los elefantes se comunican mediante sonidos de muy baja frecuencia a distancias de hasta 10 km, los gusanos de tierra tienen el cuerpo cubierto de receptores químicos gustativos, los murciélagos detectan a sus presas mediante ecolocalización, etc. Tecnologías como la descrita pueden permitirnos ampliar nuestras capacidades sensitivas de formas inimaginables.

Llegados a este punto, cabe retomar las palabras de Morfeo y preguntarnos si también nuestra existencia es tan solo parte de una simulación, si como Neo todos nosotros estamos viviendo en un mundo de sueños. Supongamos que una civilización con una capacidad tecnológica increíblemente más avanzada que la nuestra hubiera creado, con fines de estudio, una simulación de la que nosotros fuéramos los conejillos de indias. ¿Acaso podríamos saberlo? Esta idea también la encontramos en *Black Mirror,* en otros dos episodios en los que interviene la realidad simulada. En *USS Callister,* los personajes están en manos de su jefe, que los encierra (para ser exactos, encierra una copia de sus conciencias) en una aventura espacial en la que él controla todo lo que sucede. A través de esta tecnología, basada también en un videojuego, puede satisfacer sus deseos más oscuros relacionados con sus compañeros de trabajo. En *Bandersnatch,* esta idea va todavía más allá al ser un episodio interactivo en el que se permite al espectador tomar decisiones para guiar la historia (a través de elecciones binarias) y se pone al espectador al mando de la vida del protagonista, un joven programador de videojuegos. En una de las variantes de la historia, se hace evidente para el espectador que el protagonista es nuestro conejillo de Indias. Está a nuestra merced. En este caso, somos nosotros los seres de una civilización superior que hemos capturado a este individuo en la realidad simulada y hacemos con él lo que queremos. *Black Mirror: Bandersnatch* nos convierte en dioses al poder manipular la existencia de otro individuo en un entorno de realidad virtual y cuestiona así nuestras decisiones. ¿Le vamos a hacer decidir algo que le ayude o algo que le perjudique? ¿Eliges para que pasen cosas que te tengan entretenido o intentando que la historia acabe bien para el personaje? Como el protagonista de *USS Callister,* existe la tentación de que nuestros agravios se traduzcan en acciones reprobables, que el poder de tener en las manos la vida de otro nos lleve a experimentar con él. *Bandersnatch* nos ofrece la posibilidad de ser la Máquina y poner contra las cuerdas a Neo aprovechándonos de que, para él, no hay diferencia entre lo que le hacemos experimentar y la vida real.

¿Será posible sobrevivir a la muerte?

Regresemos a *San Junipero.* Como decíamos al principio, San Junipero tiene dos usos distintos que hemos creído conveniente tratar por separado. Por un lado, es una realidad simulada que se puede experimentar varias horas a la semana, pero también es un lugar donde se puede vivir después de la muerte. De hecho, hay personas que solicitan que tras su muerte sean llevadas a San Junipero para vivir allí una juventud perpetua. En este escenario, el ser humano ha logrado vivir eternamente, por lo que el desafío a las leyes de la naturaleza que antes mencionábamos es total. La vida eterna es una idea que ha fascinado y obsesionado a la humanidad desde hace siglos, y la tecnología ha permitido que, al menos en la ficción, se vuelva a explorar con intensidad esta

posibilidad. *Black Mirror* es la serie que lo ha hecho de forma más recurrente y que ha tenido un impacto mayor en la audiencia, hasta el punto de que ha inspirado a otras series a explorar el mismo tema. Recientemente se ha estrenado la serie *Upload,* en la que las personas con mayores posibles pueden contratar un servicio que les permite sobrevivir tras la muerte al ser trasladadas a una realidad simulada idílica. Esta es exactamente la idea de San Junipero: donde la identidad y la consciencia son copiadas y trasladadas a un sistema de realidad virtual en el que pueden interactuar con el resto de habitantes e incluso elegir en cada momento la época en que desean vivir. Intentemos imaginar de qué manera podría llegar a hacerse algún día algo semejante.

A grandes rasgos, podemos suponer que serán necesarios dos pasos: primero, obtener una copia de todo aquello que sea necesario para poder reconstruir la identidad del individuo, y segundo, crear un dispositivo virtual o real al que podamos transferir esa copia, de modo que la persona pueda continuar una vida igual o mejor que la que había tenido en el mundo real. Para obtener una copia de una mente deberíamos obtener la imagen completa del cerebro de la persona (si aceptamos la visión fisicalista de la consciencia), cosa que es sumamente compleja y en la actualidad imposible de llevar a cabo. El cerebro humano medio contiene del orden de 86.000 millones de neuronas de diversos tipos, cada una de las cuales tiene en promedio unas 7000 conexiones (sinapsis) con otras neuronas. Además, todas ellas están rodeadas por un número bastante superior de células gliales, cuyo funcionamiento aún no es del todo conocido (se creía que solo servían como protección y soporte). Por si fuera poco, hay que tener en cuenta los neurotransmisores, unas sustancias químicas que aumentan, regulan o inhiben la transmisión de señales a través de las sinapsis, por lo que desempeñan un papel esencial en la actividad cerebral.

Podemos imaginar dos maneras distintas de realizar la copia: una destructiva y otra no destructiva. La primera consiste en congelar el cerebro e ir cortando sucesivamente finísimas capas que son escaneadas, registradas y analizadas para luego generar a partir de ellas una imagen tridimensional del conjunto de interconexiones. Esta técnica presenta el problema de que la precisión actualmente alcanzable no resulta suficiente para deducir el funcionamiento de algunas partes, como las sinapsis. Además, en un volumen tan grande de datos como el que se obtendría con este proceso sería imposible evitar un número elevado de errores, cuyos efectos serían imprevisibles. En cuanto al procedimiento no destructivo, debería utilizar tecnologías de neuroimagen, como la resonancia magnética funcional o la magnetoencefalografía, pero su resolución es unas 500 veces inferior a la mínima necesaria para este propósito. Deberemos esperar a que surja una tecnología más precisa. En el supuesto de que algún día consigamos copiar la mente, lo que obtendremos será el más enmarañado programa informático nunca visto (mientras que los programadores humanos suelen intercalar en el código de sus programas explicaciones sobre su funcionamiento, en este no tendríamos ninguna ayuda). Tan solo la información de las conexiones sinápticas ya requiere 300 billones de datos. Por tanto, antes de pretender descifrar todo un cerebro humano, debemos empezar por investigar pequeñas secciones de cerebros más simples. Hay diversas iniciativas en este sentido en Europa, los Estados Unidos, Japón y China. Así, por ejemplo, la Unión Europea financia el Human Brain Project, iniciado en 2013 y previsto para una duración de 10 años. Emplea a unos 500 científicos en temas como la replicación de la arquitectura cerebral en ordenadores, el desarrollo de computación inspirada en el cerebro y el uso de robots para comprobar las simulaciones cerebrales. Sin embargo, a pesar de la fuerte financiación y de las grandes expectativas iniciales, los resultados hasta el momento no son los esperados. Algunos neurocientíficos opinan que los

objetivos fijados inicialmente no fueron realistas, y que deberemos esperar a mediados del siglo XXI para conseguir algún progreso significativo.

Dejando de lado las dificultades tecnológicas, la posibilidad de realizar transferencias de la mente plantea muchos problemas ético-filosóficos. Por ejemplo, supongamos que un enfermo terminal solicita que se haga una copia de su mente para que a su muerte pueda ser transferida a otro cuerpo (o a un androide o un sistema de realidad virtual). Imaginemos que, a causa de un error en el proceso de transferencia, en lugar de una se crean dos copias idénticas. Ambas copias conservan la misma identidad, tienen los mismos recuerdos, la misma manera de pensar, y ambas creerán ser la persona que eran. Ello les crearía problemas tanto a ellos mismos como a sus familiares y su entorno. ¿Sería ético solucionarlo destruyendo (matando) a uno de ellos? *Black Mirror* explora dilemas parecidos en dos de sus episodios. En *Be Right Back,* la protagonista pierde a su pareja, que fallece en un accidente. Como un remedio para superar el duelo, prueba un servicio en el que se reconstruye la personalidad de él examinando todas sus interacciones en las redes sociales. Por supuesto, este es un modelo muy imperfecto como réplica de una persona, pero es suficiente para el uso que le da ella con el fin de pasar el duelo y acompañarla durante su embarazo. Cuando ella decide llevar un paso más allá este servicio y traslada esta inteligencia artificial al cuerpo de un androide es cuando empiezan a aparecer los problemas, pues es evidente que el androide no puede sustituir a la persona real. Finalmente, ella llega a la conclusión de que no le quiere, lo que introduce el dilema de si es ético destruir a la inteligencia artificial, que suplica que no le mate, tal como haría la pareja de ella. Este es un dilema clásico de las ficciones que plantean escenarios con androides: ¿hasta qué punto es ético disponer de ellos como si fueran objetos? ¿Se deben tratar como humanos? ¿Qué es lo que define la condición humana? Son cuestiones que abordaremos con más detalle cuando tratemos la serie *Westworld* en el capítulo dedicado a los androides. Volviendo a *Black Mirror,* se produce un dilema similar en el episodio *Rachel, Jack and Ashley Too,* con la diferencia de que aquí la persona original, a partir de la cual se ha hecho una copia, está viva. Se trata de una estrella del pop, cuya personalidad se ha copiado y trasladado a un pequeño androide que se vende como juguete para adolescentes. El episodio de nuevo plantea este escenario en una historia en la que la protagonista se siente sola, pero presenta también otras cuestiones, como la necesidad del consentimiento por parte de la persona que va a ser copiada y la duda de si es ético comercializar (masivamente) copias de una personalidad.

¿Se puede copiar la consciencia?

En los episodios de *Black Mirror* en los que se transfiere o se copia la identidad de una persona a un objeto, un robot o un sistema de realidad virtual, cabe preguntarse si el resultado es o no consciente. Esta es una pregunta presente en todos los episodios a los que hemos hecho referencia en el apartado anterior. En *Be Right Back,* la personalidad de la réplica está construida a partir del perfil social en la red y de grabaciones de vídeo, pero falla en múltiples detalles y no muestra ninguna emoción, así que no es consciente. Sin embargo, en otros episodios sí parece que existe la consciencia. En *USS Callister,* las copias de los compañeros de trabajo que hace el protagonista se rebelan contra él, lo que parece indicar que son conscientes. En *Rachel, Jack and Ashley Too,* la muñeca robot también actúa de forma consciente una vez liberada de la parte de código que la limitaba. Y en *San Junipero,* el episodio con el que hemos empezado este análisis, Yorkie y Kelly viven un proceso de traspaso de su mente y consciencia al sistema virtual, por lo que cuando este se completa deberían seguir siendo conscientes, tal como lo eran cuando visitaban San Junipero en vida. Tras su muerte, la serie así lo confirma, pues muestran alegría por reunirse allí para siempre. Y aunque la última imagen que nos deja el episodio es una triste granja de servidores, ellas están juntas y contentas.

Excepto en el caso de *Be Right Back,* el resto de las reacciones de los personajes encajan con las que deberían tener unos seres conscientes. Pues la consciencia es, por definirla de una manera sencilla, el conocimiento que un ser vivo tiene de sí mismo y del mundo que le rodea. Entrando un poco más en esta definición, en filosofía se distinguen distintas formas de consciencia, entre ellas:

- Sintiencia: capacidad de experimentar sensaciones, de sentir.
- Vigilia: no solo tener la capacidad de consciencia, sino experimentarla en el momento actual.
- Consciencia de sí mismo, de la propia identidad.
- Consciencia de los propios estados mentales.
- Consciencia narrativa: el flujo de estados mentales vistos desde el «yo».

La experiencia de nuestra propia conciencia nos permite cierta intuición sobre si otras especies animales están dotadas de ella, y si es así, qué nivel alcanza en cada una. Históricamente los humanos habíamos creído que solo nosotros éramos conscientes, en parte por la visión religiosa de la humanidad como la cima de la creación y en parte porque nuestras capacidades de razonamiento y lenguaje nos distinguían del resto del mundo animal. Sin embargo, parece lógico pensar que la consciencia no es una propiedad que se tiene o no se tiene, sino que admite distintos grados y puede tener cierta relación con el nivel de inteligencia de la especie. De ser así, mamíferos (sobre todo primates, elefantes y cetáceos), pájaros (especialmente córvidos), pulpos y en menor medida otras especies deben estar dotados de un nivel de consciencia digno de ser respetado. En algunos animales cercanos a nosotros, como los perros, podemos deducir su grado de sufrimiento por sus expresiones. En otros es más difícil, como en las vacas y los caballos, pues debido a su condición de presas han aprendido evolutivamente a reducir los signos de dolor. De todos modos, nunca podremos estar completamente seguros de si un animal es consciente o no, ya que para ello deberíamos poder entrar en su mente. Es más, ni siquiera podemos estar seguros de que una persona está dotada de conciencia, pues podría ser que actuara exactamente como el resto de nosotros, pero lo hiciera de manera mecánica, como un robot. Precisamente los filósofos utilizan esta idea (la de los «zombis filosóficos») para discutir si la consciencia es algo que surge de nuestras características físicas (fisicalismo) o, por el contrario, requiere una mente inmaterial (dualismo).

En las últimas décadas, el estudio de la consciencia ha dejado de ser una cuestión únicamente filosófica y es investigada también por muchos neurocientíficos que buscan sus posibles correlatos neurales y comportamentales. Los neurales pueden ser investigados mediante herramientas de neuroimagen, como el electroencefalograma, el magnetoencefalograma, la resonancia magnética funcional o la estimulación magnética transcraneal. Estos métodos pueden ser usados incluso en pacientes en coma o en estados vegetativos. Los correlatos comportamentales se obtienen por la observación de los gestos y las actitudes, y su comparación con los de una persona consciente. Algunos neurocientíficos, entre ellos Christof Koch y Giulio Tononi, consideran que la consciencia es un aspecto fundamental de la realidad y que cualquier sistema físico que posee cierto grado de información integrada percibe experiencias (una forma de pampsiquismo). Otros expertos, como Tam Hunt y Jonathan Schooler, consideran que la consciencia surge de vibraciones que resuenan a varias frecuencias, como es el caso en las ondas cerebrales humanas. Tales ondas varían entre las delta (de 0,1 a 3 Hz) y las gamma (de 31 a 100 Hz), y corresponden a distintos estados de alerta, sueño, creatividad, concentración, etc. Para que tecnologías como las que muestra *Black Mirror* puedan hacerse realidad en un futuro, deberemos aprender más sobre la consciencia. En otra serie parecida, la británica *Years and Years,* adoptan un punto de vista más

realista. Hay un personaje cuya consciencia es copiada y subida a la nube para superar así una muerte que parece inevitable. En este caso, la ficción nos deja con la incógnita de saber si lo consigue.

¿El futuro pasa por el transhumanismo?

No hay ningún tema que se repita con más frecuencia en *Black Mirror* que el transhumanismo, que está presente en numerosos episodios, donde se presentan avances tecnológicos que se implementan en el cuerpo del ser humano. De hecho, la premisa inicial de la serie, la pantalla negra que sirve como metáfora de sus intenciones, ya hace referencia a una tecnología que prácticamente se ha convertido en una extensión del ser humano moderno: el teléfono móvil. La serie especula en múltiples entregas con otros *gadgets* imaginados que pueden ser una extensión del ser humano en el sentido literal del término, y que han sido creados, originalmente, para mejorar nuestra existencia. Convertir la especie humana en una versión mejorada de sí misma mediante el uso de tecnologías diversas es en esencia la filosofía del transhumanismo. El término lo acuñó en 1957 el biólogo y eugenista británico, primer director de la UNESCO, Julian Huxley. En cierto modo, este proceso ha empezado ya con la continua implantación de tecnologías que mejoran nuestra salud, aumentan nuestra esperanza de vida, nos permiten desplazarnos con gran rapidez, nos ponen en comunicación con personas en cualquier lugar del mundo, ponen a nuestro alcance información y conocimientos, etc.

Por supuesto, en *Black Mirror* estas tecnologías siempre tienen un giro terrorífico que, en vez de contribuir a mejorar nuestras vidas, las convierten en una pesadilla. Uno de los más estremecedores episodios de la serie es *Nosedive,* en el que los implantes oculares y los dispositivos móviles son utilizados para puntuar a otras personas. Se trata de una versión exagerada de las redes sociales que lleva a las personas a intentar estar cerca de la perfección (manteniendo una puntuación alta). Esta idea acaba generando una sociedad dividida en clases, entre los que tienen una mayor puntuación y los que tienen una puntuación baja, lo que facilita la existencia de un sector marginal de personas que no han logrado encajar con los criterios que se valoran para las puntuaciones. Otro episodio destacable es *The Entire History of You,* parte de un escenario que es todavía más atractivo: un implante detrás de la oreja permite grabar y revivir a voluntad las memorias vividas. *A priori,* parece una buena idea, ya que haría que no fuéramos dependientes de la memoria y podríamos conservar nuestros recuerdos para siempre. Pero la historia da un giro cuando la serie se fija en recuerdos que sería mejor olvidar. El protagonista acaba arrancándose literalmente los implantes. En otras series, el transhumanismo se retrata desde una perspectiva más optimista. En la mencionada *Years and Years* hay un personaje adolescente, llamado Bethany, que desea trascender su cuerpo biológico y vivir para siempre en forma de datos. Así se lo comunica a sus padres, que reciben la noticia con horror. Sin embargo, a medida que avanza la ficción y el personaje acaba llevando a cabo sus planes, el resultado no es tan terrible. De hecho, gracias a ella y sus nuevas habilidades es capaz de ayudar a otro personaje a llevar la historia principal a buen término, por lo que acaba siendo positivo.

Si bien el número de dispositivos y tecnologías que la ciencia pone a nuestra disposición no deja de aumentar, incluso a un ritmo cada vez más rápido, no dejan de ser elementos externos a nosotros. Cuando hablamos a través de un teléfono móvil, o enviamos un correo electrónico, o consultamos una información en la red, nuestro cerebro debe enviar las órdenes necesarias a los distintos órganos del cuerpo para que sean estos los que se comuniquen con el dispositivo adecuado. Y lo mismo sucede en el camino de vuelta: la respuesta pasará necesariamente por la vista, el oído u otro sentido para ser finalmente interpretada por el cerebro. En los últimos años, diversos equipos de científicos están investigando la manera de eliminar

tales pases intermedios y conseguir que la comunicación entre el cerebro y el mundo exterior sea directa, lo que significaría un salto cualitativo muy importante en el camino al transhumanismo, la integración de la tecnología en el cuerpo humano.

Se trata, pues, de crear dispositivos que permitan a sus usuarios interactuar con ordenadores valiéndose únicamente de la actividad mental. Tales dispositivos reciben el nombre genérico de «interfaces cerebro-ordenador» (usualmente abreviado BCI, por *Brain-Computer Interface*). La investigación en este campo empezó en la década de 1970 e iba destinada principalmente a aplicaciones médicas. Un ejemplo exitoso es el de los implantes cocleares, pequeños dispositivos destinados a personas con profundo déficit auditivo a las que dan una representación útil de los sonidos del entorno y las ayudan a entender el habla. El implante consta de dos partes: una externa situada tras la oreja y otra interna insertada quirúrgicamente en el cráneo. Se diferencia del audífono en que este amplifica el sonido que llega al oído externo, mientras que el implante coclear sobrepasa las estructuras dañadas del oído interno y estimula directamente el nervio auditivo. Del nivel tecnológico adquirido da prueba el hecho de que hasta el momento se han implantado en todo el mundo varios cientos de miles de estos dispositivos, que han mejorado la calidad de vida de quienes los usan.

En los últimos años se están desarrollando y probando dispositivos BCI que permiten recuperar la capacidad de comunicación, movilidad e independencia a personas afectadas por enfermedades neurológicas, parálisis o pérdida de extremidades. En tales situaciones, algunos órganos quedan aislados del cerebro y este no puede enviarles las órdenes adecuadas. Cada año aumenta el número de empresas que desarrollan dispositivos BCI que captan las señales del cerebro y las transmiten al órgano real o a uno artificial. Por ejemplo, la empresa BrainGate ha conseguido que personas incapaces de moverse y de hablar, a causa de una lesión en el tronco del encéfalo o por una esclerosis lateral amiotrófica, puedan escribir en un teclado virtual en la pantalla de un ordenador utilizando simplemente su mente. En otros casos, personas que han perdido el control de sus extremidades pueden recuperarlas parcialmente gracias a que el BCI envía las señales del cerebro a unos electrodos

implantados en los músculos correspondientes. Algunos de estos dispositivos permiten a personas con una lesión cerebral mover brazos robóticos, mientras que otros ayudan a tratar la enfermedad de Parkinson o a predecir las crisis epilépticas.

En el año 2016, Elon Musk, más conocido por ser el fundador de SpaceX (vehículos espaciales) y Tesla (automóviles eléctricos), creó la empresa Neuralink, cuyos objetivos define como «la creación de las interfaces cerebrales del futuro, la construcción de dispositivos que ayudarán a las personas con parálisis y la invención de nuevas tecnologías que ampliarán nuestras capacidades, nuestra comunidad y nuestro mundo». Como en sus otras empresas, Musk pretende superar la tecnología actual e incluso aumentar las capacidades del cerebro humano frente al reto que supone la inteligencia artificial. Sin embargo, queda un largo y complejo camino para alcanzar esta meta, y requiere el trabajo conjunto de muchos grandes investigadores en campos muy distintos. A finales de agosto de 2020, Musk presentó los avances conseguidos por su empresa hasta el momento. En concreto, mostró una cerda que tenía un implante insertado en el cerebro con 1024 electrodos que enviaba a un ordenador (vía Bluetooth) la actividad de varias neuronas. Ello permitía observar en la pantalla qué parte del cerebro se activaba en respuesta a determinadas acciones, como cuando le tocaban el hocico. En sí misma, la presentación de Neuralink no presentaba nada que resultara realmente novedoso, pero debemos esperar la evolución futura de sus proyectos.

La evolución de la especie humana está siguiendo una aceleración exponencial. Tuvieron que pasar más de dos millones de años para que el *Homo habilis,* recolector y carroñero, llegara a ser el *Homo sapiens,* y aún 200.000 años más para que empezáramos a vivir en aldeas, cultivar la tierra y domesticar algunos animales. En cambio, solo necesitamos 6000 años hasta las primeras civilizaciones y la escritura, apenas 3000 hasta los primeros filósofos y 2000 hasta la Revolución Científica, menos de 400 para la teoría de la relatividad y la física cuántica, unos 50 para el primer ordenador personal, 20 hasta el primer teléfono inteligente y tan solo 10 para su desarrollo y utilización masiva. Así que ningún escenario futuro está demasiado lejos si lo comparamos con la evolución del ser humano hasta ahora. Ni siquiera el futuro de *Black Mirror*.

¿Podrían existir los dragones de *Juego de Tronos*?

En *Juego de Tronos* hay dragones, gigantes, caminantes blancos y todo tipo de criaturas que habitan un mundo fantástico surgido de la imaginación de George R. R. Martin. Entonces, ¿qué tiene que ver la ciencia con *Juego de Tronos*? Más de lo que pudiera parecer a simple vista. De hecho, aunque la obra escrita por Martin y adaptada en forma de serie por HBO tenga como principales protagonistas a los herederos al trono de hierro, también tiene sus científicos: la orden de los maestres. Y aunque parezca que su importancia es menor, acaban teniendo un papel capital en la historia, a pesar de que no sean tan vistosos como Jon Snow, Daenerys Targaryen y compañía. Mientras estos tratan de conquistar Poniente, los maestres tratan de explicar Poniente. Y lo hacen utilizando el método científico, que caracteriza una orden que no sirve a ningún líder, sino a todos los habitantes del mundo de Poniente, a los que ofrecen una vida dedicada al estudio. Esto se simboliza con una cadena que sus miembros llevan colgada del cuello. La cadena está hecha de distintos materiales que son un símbolo de la disciplina en la que el maestre ha demostrado un conocimiento extenso. Así, los maestres empiezan sus estudios como novicios y cuando dominan un campo concreto son puestos a prueba y posteriormente recompensados con un eslabón para la cadena. Llevar la cadena al cuello significa tener un grado de conocimiento poco habitual en Poniente. Por eso, estos científicos suelen tener un lugar de privilegio asesorando a los nobles. Uno de los primeros que conocemos en la serie es el maestre Luwin, que sirve a Ned Stark en Invernalia. Más tarde conocemos a Pycelle, que sirve al monarca de Desembarco del Rey, ejerciendo de Gran Maestre.

La posición de Pycelle, que ha servido a distintos monarcas de diferentes casas, refleja también la neutralidad de estos científicos. Ellos sirven al conocimiento, lo que les convierte en figuras que no tienen, o no deberían tener, lealtades hacia ninguna de las casas que controlan el poder en Poniente. Los maestres se basan en el método científico y menosprecian la creencia en la magia, lo que les separa de los alquimistas. Esto refleja la división que existió en el mundo real entre la alquimia y la ciencia. La alquimia fue una práctica que investigó la naturaleza mediante una mezcla de filosofía, astrología, física, química y espiritualismo. Sus objetivos eran descubrir la piedra filosofal, encontrar el elixir de la vida o explicar la relación de los seres humanos con el cosmos. Sus orígenes parecen remontarse al siglo IV a. e. c. en Egipto y Grecia, y más tarde en India y China. Cuando los árabes tomaron Alejandría, en el siglo VII e. c., tradujeron textos alquímicos al árabe, y es de este idioma del que fueron traducidos al latín por los estudiosos occidentales en los siglos XII y XIII. La alquimia no puede ser considerada una ciencia, pero contribuyó en algunos aspectos a los primeros pasos de la Revolución Científica (1543-1687), por lo que podemos denominarla una protociencia. Científicos tan destacados como Isaac Newton y Robert Boyle dedicaron parte de sus trabajos a la alquimia, y probablemente esta les inspiraría algunos de sus descubrimientos.

En el mundo de Poniente, los alquimistas habían tenido su época de mayor influencia durante el reinado de Aerys II, pero actualmente han perdido su posición ante los maestres (la ciencia). Sus instalaciones subterráneas contrastan con la majestuosa Ciudadela de los maestres. Así, la orden de los maestres son una suerte de primeros científicos, si comparamos el

universo de la serie con el mundo real. En estos primeros pasos, la ciencia se encuentra también con dilemas éticos, que en la historia de *Juego de Tronos* personifica Qyburn, un maestre que fue despedido de la Ciudadela por realizar experimentos ilegales con humanos (vivisecciones). Salvando las distancias, parece que el personaje de Qyburn puede estar inspirado parcialmente en Josef Mengele, el «ángel de la muerte» del campo de concentración de Auschwitz. De hecho, Qyburn encuentra su momento de gloria como consejero en el gobierno dictatorial de Cersei Lannister, que relega a Pycelle a un segundo plano y da a Qyburn una credibilidad que no tenía nombrándolo Mano del Reina.

Pero el científico con un papel más destacado de *Juego de Tronos* es Sam, cuya trayectoria en la serie consiste precisamente en intentar convertirse en maestre. Finalmente, al llegar a la Ciudadela, descubre que la vida de conocimiento que soñaba no es como pensaba, y queda decepcionado por el funcionamiento de la orden (el equivalente a la comunidad científica). Descubre que es un mundo donde las jerarquías entre sus miembros tienen una importancia excesiva y la posibilidad de una hipótesis que invalide el conocimiento ya adquirido es menospreciada sistemáticamente por la mayoría de sus miembros. Así, la amenaza de los caminantes blancos es recibida con risas por los maestros de la Ciudadela. En última instancia, Sam acaba desengañado, no sin antes descubrir a través de sus estudios que el vidriagón es una sustancia muy útil para acabar con los caminantes blancos. De hecho, se podría argumentar que sin el conocimiento científico, que Sam transmite de los libros a Jon Snow, no se habría encontrado la forma de vencer a los caminantes blancos, y el destino de los habitantes de Poniente habría sido muy distinto del que finalmente fue en la serie. Así que sí, vamos a argumentar que la ciencia tiene importancia en *Juego de Tronos*.

Lo vamos a hacer también planteando preguntas que surgen si miramos la serie con curiosidad científica. Nos fijaremos en criaturas mágicas, fenómenos meteorológicos y muertes espectaculares. Y descubriremos que, aunque sea de un mundo de fantasía, la ciencia es capaz de explicar muchas de las escenas más impactantes de *Juego de Tronos*. De hecho, la existencia de algunos elementos, como los dragones de Daenerys, puede tener una explicación racional. Y es que Drogon y compañía son el último ejemplo de dragones que logran captar el imaginario de la audiencia. Previamente había habido otros dragones célebres, como Smaug, de *El Hobbit*. Todos se basan en variaciones de una misma criatura que aparece en el folklore de diversas culturas. Se ven por primera vez en el arte de la antigua Mesopotamia, pero están presentes en mitologías de muchas culturas de diferentes partes del mundo. El antropólogo David E. Jones formuló una hipótesis para explicar el hecho de que el dragón sea una criatura culturalmente tan transversal, apuntando que el ser humano había heredado el miedo instintivo hacia las serpientes. Esto se debe a que la serpiente era un depredador importante para nuestros ancestros. El dragón, como figura imaginaria, tiene atributos parecidos a los de la serpiente, tanto en la forma como en los lugares que habita, por lo que es una manera de introducir en el imaginario colectivo un miedo que es ancestral y que todavía hoy tiene una presencia importante en muchos relatos del género fantástico. Sin embargo, aparte de esta explicación, queremos saber si un dragón como el que aparece en *Juego de Tronos* sería posible en la vida real. Vamos a aplicar un poco de ciencia para descubrirlo.

¿Son científicamente posibles los dragones de Daenerys?

Para responder a esta pregunta debemos empezar considerando la física del vuelo, es decir, el mecanismo básico que permite a aves, murciélagos, aviones y helicópteros desplazarse por el aire. Cualquiera de ellos, mientras vuela, está sometido a la acción de cuatro fuerzas que actúan en cuatro direcciones distintas. Por una parte

está el peso (hacia abajo), que debe ser compensado con la sustentación proporcionada por las alas (hacia arriba), y por otra parte está el arrastre o resistencia aerodinámica (hacia atrás), que se vence gracias al empuje (hacia delante) proporcionado también por las alas, en el caso de aves y murciélagos, o por los motores en los aviones y helicópteros.

Las alas tienen un perfil aerodinámico que debe ser ajustado a las necesidades del vuelo. Las de las aves están formadas principalmente por plumas y en su parte frontal incluyen los huesos del brazo, terminados en dos dedos. En cambio, las de los murciélagos consisten en una fina membrana elástica de piel y su brazo tiene cinco dedos que la abarcan por completo. Tales características hacen que estos animales tengan una capacidad de maniobra muy superior a la de las aves.

Por lo que respecta a las alas de los artilugios humanos, estas son en su mayor parte rígidas, aunque incluyen elementos articulados, como los *flaps* y los *espoilers,* que permiten variar sus características en fases concretas del vuelo (en los helicópteros, cada aspa actúa como un ala). La fuerza de sustentación necesaria para mantener en vuelo un avión se logra dando al ala un perfil aerodinámico y un ángulo de ataque adecuados, y generando el empuje necesario en los motores, según la fórmula: $S = (C_S \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A)/2$, en la que S es la fuerza de sustentación, C_S es el coeficiente de sustentación, ρ es la densidad del aire, V es la velocidad verdadera (relativa a la masa de aire en la que está volando) y A es el área del ala. Suponiendo un vuelo horizontal a una velocidad constante y sin variaciones en las condiciones atmosféricas, la fracción $(C_S \cdot \rho)/2$ puede ser sustituida por una constante k, y entonces la fórmula se reduce a la expresión $S = k \cdot V^2 \cdot A$. Esta puede aplicarse por igual a las aves y los murciélagos, con la salvedad de que en este caso la velocidad no la proporcionan los motores, sino las mismas alas.

Nos interesa averiguar si la fórmula implica algún tipo de limitación en el tamaño máximo de un hipotético dragón. Vemos en ella que la fuerza de sustentación es proporcional al producto de la superficie alar por el cuadrado de la velocidad alcanzada. En una primera aproximación podemos suponer que tanto el peso del ave como la superficie y la fuerza de sus alas aumentan con el tamaño del animal; sin embargo, no lo hacen en la misma proporción. Mientras que el peso está relacionado con el volumen, y por tanto es proporcional al cubo del tamaño del ave, la superficie alar solo aumenta al cuadrado. Dicho de otra manera, si determinada especie tiene un tamaño (dimensión lineal) del doble que otra, el peso de la primera será $2^3 = 8$ veces mayor, pero su superficie alar, de la que dependen su sustentación y su empuje, será solo unas $2^2 = 4$ veces mayor. Y tal diferencia aumenta exponencialmente, pudiendo llegar a valores tan altos que hagan imposible el vuelo.

Apliquémoslo al caso de los dragones. Como no disponemos de medidas concretas, trataremos de obtenerlas a partir de la observación y la medida de las imágenes de la última temporada en las que aparecen simultáneamente dragones y humanos (u otros objetos que permiten comparar sus dimensiones). De este modo llegamos a la conclusión de que Drogon tiene una longitud de unos 35 m y una envergadura de 70 m, con una superficie alar aproximada de 400 m^2. Deducir su peso resulta más complicado. Podemos obtener un valor aproximado dividiendo la imagen del dragón en fragmentos del tamaño aproximado de un elefante. Obtenemos así un volumen de unos 10 elefantes, y como un elefante africano puede pesar unas 6 t, el peso del dragón debe ser de unas 60 t (unos 590.000 N). Con estos datos ya podemos emplear la fórmula anterior: $S = k \cdot V^2 \cdot A$. Aplicando un valor estándar (1,22 kg/m^3) para la constante y sustituyendo los restantes valores obtendremos 590.000 $kg \cdot m/s^2$ = 1,22 $kg/m^3 \cdot V^2 \cdot 400\ m^2$, y por tanto $V^2 = 590.000 / (1{,}22 \times 400)$, o sea, $V \approx 35$ m/s ≈ 126 km/h, lo que resulta un valor elevado, pero posible.

Consideremos ahora qué sucede en el mundo real. Según un estudio publicado en 2016 por el American Museum of Natural History, en el mundo existen entre 15.000 y 20.000 especies de aves, cuyo tamaño oscila entre los 6 cm y 2,5 g del colibrí zunzuncito hasta los 2,8 m y 160 kg de los avestruces. Sin embargo, de todas ellas, ninguna de más de 20 kg puede volar (algunos ejemplares de la avutarda kori, nativa de África, alcanzan este peso). Por lo que respecta a los murciélagos, los de mayor tamaño son los del género *Pteropus* y pueden alcanzar un peso de 1600 g y una envergadura de 1,8 m. Por otra parte, si nos remontamos al pasado vemos que desde hace 228 millones de años hasta hace 66 millones de años nuestro planeta fue habitado por los pterosaurios, los primeros animales vertebrados que desarrollaron la capacidad de volar. Los fósiles más antiguos encontrados corresponden a especies muy pequeñas, de poco más de medio metro de envergadura, pero las nuevas especies fueron aumentando su tamaño hasta llegar al *Quetzalcoatlus northropi,* de 200 kg de peso y algo más de 10 m de envergadura, con el cuerpo recubierto de pelo y un enorme pico semejante al de un pelícano. Como en las aves actuales, es probable que las especies de mayor tamaño no pudieran volar, pero en caso contrario el *Quetzalcoatlus northropi* sería el animal volador más grande que haya existido en la Tierra. Aun así, su peso sería 300 veces inferior al del dragón. El animal más pesado de los mares, la ballena azul, alcanza las 190 t, y el más pesado en tierra, el elefante africano de sabana, puede llegar a las 12 t, pero la más pesada de las aves voladoras no sobrepasa los 20 kg. Sin duda debe haber una razón de peso (perdón por el juego de palabras) para que esto sea así. Mantener en el aire un animal tan pesado como un dragón comporta un coste energético que no se compensa con los posibles beneficios que ello pueda proporcionarle. Además, las alas, y muy especialmente los huesos de estas, estarían sometidos a un esfuerzo inmenso que probablemente no podrían resistir sin romperse. En suma, parece muy poco probable, por no decir imposible, la viabilidad de un dragón que vuele como los de la serie.

Para que los dragones puedan lanzar fuego necesitan producir tres tipos de componentes en grandes cantidades: un combustible poco pesado, oxígeno y una fuente de calor adecuada que genere una llama o una chispa. Además, los órganos internos del dragón deben poder soportar el almacenamiento de estos productos, el proceso de generación del fuego y el paso de este por el cuello y la garganta. Por lo que respecta al combustible, podría ser el metano. Si una vaca puede producir algunos cientos de litros de metano al día, un dragón debería poder obtener una cantidad mucho mayor, aunque sería necesario que comiera hierba en lugar de carne. El oxígeno es abundante en el aire, y no debería ser problema. En cuanto a las chispas necesarias, podrían provenir del choque de piedras —preferentemente pirita y sílex— contenidas en la vía digestiva para ayudar a la trituración de los alimentos (las mollejas de las aves realizan esta función). Los problemas principales serían cómo proteger el cuello y la garganta, y cómo generar de modo continuo la inmensa cantidad de fuego necesaria para destruir castillos y ciudades.

Aunque el caso de los dragones no parece viable, en el mundo real algunos animales pueden escupir sustancias muy calientes. Es el caso del escarabajo bombardero, del cual existen más de 500 especies y se encuentra en todos los continentes excepto la Antártida, que cuando es amenazado lanza a su atacante un aerosol tóxico extremadamente caliente. El animal dispone de dos depósitos en el interior de su abdomen: en uno de ellos almacena hidroquinona (un derivado del benceno) y en el otro peróxido de hidrógeno (agua oxigenada). Cuando el escarabajo se siente amenazado, ambos productos se mezclan en una antecámara revestida con enzimas. La reacción es altamente exotérmica y la mezcla alcanza casi los 100 °C y genera 1,4-benzoquinona mediante la reacción $C_6H_4(OH)_2 + H_2O_2 \rightarrow C_6H_4O_2 + 2\ H_2O$.

El hediondo gas resultante es expulsado de forma violenta en dirección a la amenaza (la punta del abdomen del escarabajo puede girar 270°).

¿Por qué el invierno de *Juego de Tronos* tarda tanto en llegar?

«Se acerca el invierno» dice Ned Stark, taciturno. Esta frase fue usada habitualmente como mantra entre los Stark para presagiar tiempos difíciles, siendo adoptada como lema por los fans de la serie. El invierno como sinónimo de dureza, de un tiempo en el que va a ser difícil sobrevivir, es una constante en la serie. Está apoyado en la peculiaridad de las estaciones del mundo de la serie, que a diferencia de las nuestras duran varios años y su prolongación es imprevisible. Así, la llegada del invierno supone con toda seguridad el inicio de un periodo difícil para la mayoría de los habitantes de Poniente, especialmente los que viven en el norte. ¿Pero a qué se deben las estaciones erráticas del mundo de *Juego de Tronos*? Vamos a proponer tres posibles respuestas.

La primera: el impacto de meteoritos. Entre las órbitas de Marte y Júpiter se encuentra el llamado cinturón de asteroides, un amasijo de rocas de tamaños muy variados, desde pequeñas partículas de polvo hasta otras de centenares de kilómetros. Los frecuentes choques entre ellas las lanzan a gran velocidad en todas direcciones y algunas acaban llegando a la Tierra. La fricción con la atmósfera destruye las de menos de 25 m, pero las de mayor tamaño pueden llegar al suelo y entonces reciben el nombre de meteoritos. El mayor meteorito conocido que se conserva en una sola pieza es el Hoba, que pesa 60 toneladas, mide 2,7 × 2,7 × 0,9 m y se encuentra en Namibia. Se calcula que su impacto se produjo hace unos 80.000 años. Los meteoritos de mayor tamaño causan daños significativos, de alcance local para los de hasta un kilómetro, y mundial por encima de este tamaño.

Ejemplo de esto último es la extinción masiva del Cretácico-Paleógeno, que tuvo lugar hace 66 millones de años y provocó la extinción de tres cuartas partes de todas las especies de plantas y animales que existían en la Tierra. Pudo haber sido causada por el impacto de un cuerpo celeste (un asteroide o un cometa) de entre 11 y 81 km de diámetro, que habría chocado con la Tierra a unos 20 km por segundo con un ángulo cercano a 60°. El impacto generó el cráter de Chicxulub, de unos 150 km de diámetro y 20 km de profundidad, actualmente enterrado bajo la península de Yucatán, en Méjico. Las deyecciones producidas ennegrecieron la atmósfera en todo el mundo durante varios años, creando una noche continua. Del mismo modo, la variabilidad de las estaciones en el mundo de *Juego de Tronos* podría explicarse suponiendo que su órbita se cruza con la de un cinturón de asteroides (o pasa cerca de él). Ello provocaría aleatoriamente impactos de variada intensidad que generarían los largos e imprevisibles inviernos de Poniente.

Segunda posibilidad: la erupción de volcanes. Como en el caso del impacto de un meteorito, la erupción de un volcán puede generar nubes de humo y cenizas que bloquean la luz del sol y disminuyen así la temperatura del suelo, pero este es un efecto a corto plazo. El efecto a largo plazo, el más preocupante, se debe a los compuestos de sulfuro expulsados a la estratosfera. Allí, durante meses reaccionan con vapor de agua para formar aerosoles sulfúricos que generan un velo blanquecino que aumenta la reflectividad (albedo) del planeta, haciendo que nos llegue menos energía del sol y disminuya la temperatura. Estos aerosoles pueden permanecer en la estratosfera durante meses e incluso años. Aunque sus efectos guardan cierta similitud con los del impacto de meteoritos, la actividad volcánica parece una mejor explicación de la variabilidad de los inviernos de Poniente, aunque todavía nos queda explorar una tercera opción.

Tercera posibilidad: los movimientos del planeta. La Tierra, como el resto de los planetas del sistema solar, gira alrededor del Sol siguiendo una órbita elíptica en la que este ocupa uno de los focos. Sin embargo, su

excentricidad es tan baja (0,0167) que la órbita es prácticamente circular. Además, la Tierra gira sobre sí misma con un eje que pasa por los polos. Si este eje fuera perpendicular al plano de la órbita, cada lugar de la Tierra tendría todos los días del año el mismo tiempo de exposición al Sol, pero no es así, ya que el eje de rotación está inclinado 23,5° en una dirección fija respecto a las estrellas. De este modo, en un punto de la órbita el Polo Norte tiene su máxima inclinación hacia el Sol (el solsticio de verano del Polo Norte), y en el extremo opuesto la inclinación es en sentido contrario (el solsticio de invierno del Polo Norte). Ello hace que los días sean más largos en verano y más cortos en invierno.

Cuando hacemos girar una peonza resulta muy difícil que el eje de rotación quede exactamente vertical (aunque lo consiguiéramos, cualquier pequeño efecto externo o la pérdida de velocidad tenderá a alejarla de la verticalidad). Entonces observamos que, además de girar en torno a su eje, la peonza se mueve también generando una superficie cónica de revolución en torno al eje vertical (eje de precesión). Y si somos más observadores veremos que, además, la distancia del eje de rotación al eje de precesión varía periódicamente (se aleja y se acerca) en un movimiento de cabeceo que recibe el nombre de «nutación». Pues bien, lo mismo sucede con la Tierra. Además del movimiento de rotación (una vuelta cada 23 horas, 56 minutos y 4,1 segundos), experimenta el de precesión con un ciclo que dura 25.772 años y que hace que la posición de los polos celestiales cambie con el tiempo. Así, si actualmente vemos en el Polo Norte celestial la estrella α-Ursae Minoris (estrella del Norte), la más brillante de la constelación de la Osa Menor, futuras generaciones verán en la misma posición otras estrellas distintas.

Si el planeta de *Juego de Tronos,* en lugar de seguir una órbita casi circular, tuviera una en la que la mayor distancia al Sol fuera el doble que la más corta, entonces tendría un muy largo y extremadamente frío invierno durante el cual apenas recibiría la cuarta parte de radiación solar que en el resto de la órbita. Invierno largo explicado. Sin embargo, para explicar la variabilidad de los inviernos deberíamos combinarlo con algún elemento adicional imprevisible, como por ejemplo que el planeta esté expuesto cada pocos años a impactos de meteoritos o erupciones de volcanes. Un último aspecto que hay que tener en cuenta es que en el mundo real disponemos de una luna de tamaño considerable que actúa como estabilizadora de la inclinación del eje terrestre. Sin ella, probablemente las estaciones serían mucho más impredecibles. En *Juego de Tronos,* Poniente tiene una luna, pero no sabemos si es muy lejana o de poco tamaño. Si fuera así, podría también explicar la irregularidad de las estaciones por la desestabilización del eje del planeta.

¿Es realista la fuerza que exhibe la Montaña en sus combates?

Juego de Tronos también es una serie muy conocida por escenas que dejan a los espectadores prácticamente traumatizados. Las muertes de algunos personajes han provocado auténticos ataques de histeria que han quedado documentados en vídeos de YouTube. Uno de los más demoledores y que exige una respuesta científica tiene lugar en el octavo episodio de la cuarta temporada, en el que se produce un juicio por combate que enfrenta a Oberyn Martell contra Gregor Clegane, conocido con el sobrenombre de la Montaña. En un giro de guion, este último atrapa a Oberyn poniéndose encima de él y le coge la cabeza con las dos manos. Tras reventarle los ojos, hundiendo los dedos en ellos, le aplasta el cráneo con las manos. ¿Es posible que un ser humano, aunque sea tan fuerte como la Montaña, pueda llegar a hacer algo así? Una referencia al respecto se encuentra en un estudio sobre los efectos protectores de los cascos para ciclistas (publicado en 2012 en *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*). En él se usaron cráneos humanos procedentes de cadáveres que se acondicionaron y rellenaron con material adecuado para que sus características fueran lo más

parecidas posible a las de los cráneos de las personas vivas. En una prensa se hicieron pruebas de compresión y se comprobó que para romper el cráneo sin casco era necesaria una fuerza de 2300 N (236 kgf), una cifra que viene a ser el doble de la que una persona muy fuerte puede lograr con sus manos.

En la serie ha habido otras muertes espectaculares (por llamarlas de alguna manera). Una de las primeras, y por ello de las más sorprendentes, fue la de Viserys Targaryen, hermano de Daenerys. Ávido por conseguir ser rey, es «coronado» con un chorro de oro fundido que Khal Drogo le tira por la cabeza. ¿Es la escena científicamente posible? Tendríamos que ver si la fogata que se ha utilizado para fundir el oro podría haber sido suficiente, ya que el oro funde a 1064 °C. Si lo hubiera mezclado con plomo le habría bastado una temperatura muy inferior, con la que quizás sí habría sido posible. Sin embargo, no es una muerte muy cruel, si la comparamos con otras que se muestran en la serie, ya que el cerebro humano en sus tres cuartas partes es agua, que herviría en pocos segundos, y la muerte de Viserys sería casi instantánea. Más lenta y dolorosa es la muerte, en la quinta temporada, de Shireen Baratheon, quemada en una hoguera. Habitualmente, en esta forma de ejecución se solía matar a varios reos a la vez utilizando una hoguera grande, y en realidad estos morían por intoxicación por dióxido de carbono antes de que las llamas les alcanzaran el cuerpo. En el caso de Shireen, sin embargo, está sola y la madera está agrupada a sus pies, consumiéndose lentamente mientras sufre una larga y terrible agonía. Es una de las muertes más crueles, pero quizás poco recordadas al tratarse de un personaje secundario bastante menor de la serie.

¿En qué sustancia real se inspira el fuego valyrio?

Las explosiones también han sido las grandes protagonistas de algunas de las escenas más espectaculares de *Juego de Tronos,* especialmente las realizadas con fuego valyrio. Basta con rememorar la batalla de Aguasnegras de la segunda temporada, o la explosión del Gran Septo de Baelor en la sexta temporada, para recordar lo que esta sustancia verde es capaz de hacer. Hombres volando por los aires, edificios estallando y haciéndose pedazos a gran velocidad, muerte por doquier. Es una sustancia muy peligrosa, pues basta una chispa, el calor del sol o una sacudida para provocar su violento encendido, y entonces resulta casi imposible de apagar, ya que puede arder en el agua. No hay más solución que sepultarlo en arena o esperar a que se consuma por completo. En grandes cantidades es explosivo, y su transporte debe ser realizado con cuidado, pues cualquier accidente puede inflamarlo. Sus propiedades le convierten en un arma ideal en las batallas navales para destruir los barcos enemigos. Otra característica peculiar es que con el tiempo aumenta su fuerza. Su naturaleza está envuelta de secretismo, pues los encargados de su fabricación son los miembros del gremio de alquimistas de Desembarco del Rey, quienes lo llaman «la sustancia» y son los únicos que conocen el secreto del proceso, en el que interviene cierto tipo de magia. Cuanto mayores son la pericia y la experiencia del mago, más agresivo será el fuego.
La fabricación tiene lugar en los sótanos de la sede del gremio, en un laberinto bajo la colina de Visenya.
Y aunque parezca que el fuego valyrio es completamente ficticio, su inspiración probablemente provenga del mundo real, pues existen en el mundo dos sustancias de características bastante similares.

La primera es el denominado «fuego griego». Lo usó el Imperio Romano Bizantino para defender Constantinopla, principalmente en los asedios de los años 673-678 y 717-718. Se lanzaba contra los barcos enemigos con una especie de fuelle, a modo de lanzallamas, o también dentro de unas tinajas, disparado con ballestas. Su fórmula era guardada como un secreto, pero es probable que contuviera nafta, resinas y azufre, y posiblemente cal viva (óxido de calcio), salitre o amoniaco. Se utilizó hasta 1204, cuando su fórmula se perdió para siempre durante los saqueos y la destrucción de Constantinopla en la cuarta Cruzada.

La segunda sustancia de este tipo, mucho más reciente, es el napalm. El nombre proviene de los dos componentes de su primera versión: el ácido nafténico (mezcla de ácidos carboxílicos presentes en el petróleo) y el ácido palmítico (un ácido graso saturado que se encuentra en animales, plantas y microorganismos). Aunque la fórmula ha variado, habitualmente el nombre de napalm se utiliza tanto para la versión inicial como para las nuevas.
Fue desarrollado en 1942 en un laboratorio secreto de la Universidad de Harvard para el Servicio de Guerra Química de los Estados Unidos. Su diseño hace que arda incluso en el agua, es muy difícil de apagar, alcanza grandes temperaturas (llega incluso a fundir el acero), se adhiere a las superficies y penetra en trincheras, búnkeres y otros refugios. Además, a diferencia del fuego valyrio, no se enciende fácilmente, lo que hace que se pueda transportar con mayor seguridad. Fue usado abundantemente por los Estados Unidos en la Segunda Guerra Mundial, la Guerra de Corea y la Guerra de Vietnam (solo en esta última lanzaron 388.000 toneladas de napalm).

¿Existe un material como el vidriagón?

En caso de que alguna vez nos atacaran los caminantes blancos, nos iría bien tener a mano alguna arma fabricada con vidriagón. En el mundo de *Juego de Tronos,* el vidriagón es muy efectivo para derrotar a estos enemigos, tal como descubre Sam, cuando queriendo defender al bebé de Gilly empuña una daga hecha de vidriagón para atacar a un caminante. Al clavar la daga, el caminante grita de dolor mientras se convierte en hielo y se rompe en mil pedazos con un estallido. Más adelante, y sabiendo el efecto que tiene el vidriagón, y con la guerra contra los Caminantes Blancos cada vez más cercana, Jon Snow ordena que se busque esta sustancia para fabricar armas. Esto le acaba llevando hasta Dragonstone, ahora en manos de Daenerys, que le permite extraer vidriagón de las minas mientras ella está concentrada en su enfrentamiento con Cersei. De nuevo en Invernalia, es Gendry quien se encarga de dirigir la forja de todo tipo de armas utilizando el vidriagón. Una de estas armas tendrá un papel crucial en el final de la serie. ¿Pero existe el vidriagón en el mundo real? Pues sí. Se trata de la obsidiana, una roca volcánica extremadamente cortante, brillante y fuerte, con la que los pueblos antiguos fabricaban armas y elaboraban adornos. De hecho, según Sam, vidriagón es el nombre popular con el que se conoce la obsidiana en Poniente, pues en la segunda temporada dice: «Debe ser vidriagón, lo que los maestros llaman obsidiana».

La obsidiana es una roca ígnea dura y frágil, cuyos cantos afilados son sumamente cortantes. Suele ser de color negro, pero a veces puede presentar tonos rojos o marrones. Se forma en ciertas erupciones volcánicas, con una lava que contenga una gran cantidad de sílice y que se enfríe rápidamente. De este modo se convierte en un vidrio uniforme. Era utilizada ya por nuestros antepasados hace más de 1,5 millones de años. Cuando los grupos de cazadores-recolectores prehistóricos recogían obsidiana y la trabajaban, dejaban escamas que permiten a los arqueólogos actuales estudiar sus movimientos, ya que las características químicas de la roca encontrada permiten determinar el origen de las piezas y, por tanto, la distancia recorrida. Actualmente se utiliza con fines ornamentales o como piedra preciosa. También hay algunos cirujanos que utilizan escalpelos hechos con obsidiana, pues su corte es más fino y causa menos daño al tejido orgánico, de manera que las heridas quirúrgicas sanan más rápidamente. Eso se debe a que su filo es hasta cinco veces más fino que el de los escalpelos de acero.

El acero es, precisamente, otro de los materiales con los que se fabrican armas en el mundo de *Juego de Tronos.* Existen dos tipos de acero: el normal y el valyrio. El normal es conocido por todos; se trata de una aleación de hierro y carbón (hasta el 2,14%, pero en general menos del 0,4%), acompañados a veces por otros elementos, como el cromo (para el acero inoxidable), el vanadio,

el molibdeno o el níquel. Por sus excelentes propiedades, el acero es uno de los materiales más utilizados hoy día. Entre el hierro y el acero suman el 95% del metal producido en el mundo. La producción mundial de acero en 2019 superó los 1800 millones de toneladas, más de la mitad de las cuales se produjeron en China. Por sus características de dureza, resistencia y flexibilidad, el acero parece el material idóneo para la producción de espadas. Sin embargo, el proceso necesario para conseguir una buena espada es complejo y delicado, y requiere profesionales expertos. Hay que ajustar el contenido de carbón y la temperatura para conseguir la estructura cristalina adecuada, proceder a un enfriamiento rápido en aceite o agua para aumentar su dureza, seguido de un calentamiento a baja temperatura para eliminar tensiones internas y reducir su fragilidad.

El acero valyrio se distingue del acero normal porque las espadas y dagas que se hacen con él son extraordinariamente fuertes y resistentes. Están forjadas con fuego de dragón, lo cual ya hace que sea imposible que existan en la vida real (ya hemos establecido que los dragones no existen). Sin embargo, el acero valyrio sí está inspirado en

uno del mundo real: el acero de Damasco (o acero wootz). Este tiene su origen en el sur de India en el siglo V a. e. c., y se caracteriza por unos patrones de bandas formados por capas de carburos microscópicos de martensita (o ferrita) y perlita. En el proceso se partía de hierro poroso que era golpeado en caliente para liberar la escoria, se partía en fragmentos que se sellaban con virutas de madera y se calentaba hasta que el hierro absorbía el carbón de la madera y se fundía. Se obtenía así un acero con un porcentaje de carbón del 1-1,5% que se forjaba para transformarlo en las espadas de Damasco y otros objetos.

Las espadas de Damasco tenían un filo muy fino y resistente, hasta el punto de que, según se decía, eran capaces de cortar en dos una pluma lanzada al aire. Algunos científicos las han estudiado para intentar descubrir su secreto. En 2006, un grupo de ellos utilizó un microscopio electrónico de alta resolución para examinar un sable de acero de Damasco del siglo XVII, y observó que el borde afilado contiene nanotubos de carbono y nanoalambres de cementita, lo que podría ser la causa de sus propiedades. Sin embargo, tal afirmación no ha sido confirmada por nuevos estudios.

¿Existe la metanfetamina azul de *Breaking Bad*?

El protagonista de *Breaking Bad* seguramente sea uno de los científicos más populares de las series de televisión. Aunque moralmente situado en un territorio ambiguo (que a medida que avanza la serie va convirtiéndose en oscuro), Walter White es, desde el principio hasta el final de la serie, un científico experto en su campo, la química, que se siente agraviado por la falta de reconocimiento de la sociedad que le rodea. En el mundo de Walter White, y también en el mundo real, a menudo los científicos no tienen la consideración que merecen. Esta falta de atención forma parte del origen del personaje y del detonante de la historia. En el primer episodio podemos ver, en la escena de la rutina matinal que presenta al personaje en su cotidianidad, que tiene una placa colgada en la pared. La placa es un reconocimiento a su trabajo como líder de un proyecto en cristalografía que, según se puede leer (la muestran muy brevemente), fue una contribución fundamental para una investigación premiada con un Nobel en 1985. No se conocen más detalles de ese pasado del personaje, pero no es realmente necesario. Lo relevante es que esa placa es todo lo que ha recibido por sus esfuerzos, y a partir de aquí se explica el personaje. Lo que vemos a continuación es un científico que, a pesar de ser claramente brillante, tiene que aguantar el desinterés y la humillación de sus alumnos adolescentes como profesor de química en un instituto. Y también tiene que ver cómo, mientras él no es reconocido de ninguna manera, un individuo bocazas y no demasiado inteligente como Hank, su cuñado, recibe aplausos y vítores por salir un momento en televisión al haber atrapado a cuatro traficantes de poca monta. Este agravio generado por la falta de reconocimiento como científico no le va a abandonar durante toda la serie. Incluso cuando su existencia ha cambiado por completo, seguirá formando parte del motivo que guía al personaje y es esencial para entenderlo. También el conocimiento científico formará parte de la serie hasta su último episodio, pues aunque se convierta en traficante, Walter White no deja de ser nunca un científico: resolverá las muchas dificultades que se le presenten utilizando la ciencia y no perderá la oportunidad para explicar (el espíritu divulgador del personaje es encomiable) a la audiencia lo que está haciendo.

El personaje que representa a la audiencia es Jesse, que es quien recibe las pacientes explicaciones de Walter White. La figura de Jesse es clave, porque sitúa en un plano superior a Walter White (al fin y al cabo, él es quién posee el conocimiento que les permite triunfar a ambos en el competitivo mercado del tráfico de droga) y subraya así el talento de este.
El reconocimiento de su talento está ligado, como decíamos, al agravio que siente el personaje, que encuentra en Jesse alguien que le valora y le escucha. Las lecciones de Walter White sirven a la serie para explicar la ciencia que pone en pantalla, y a lo largo de este capítulo analizaremos varias escenas en las que la ciencia es la protagonista, y también para poner sentido del humor a través de la dinámica que se crea entre los dos personajes, pues Jesse a menudo no entiende nada, o lo justo, de lo que le explica su socio. Sin embargo, suelta un *«It's science, bitch!»,* una frase recurrente de la serie que recuerda al espectador constantemente que es

la ciencia lo que lleva a Walter White a conseguir sus propósitos. Y aunque a menudo el profesor se desespera con el alumno, Jesse no debe ser tan obtuso ni Walter White tan mal profesor cuando al final acaba adquiriendo conocimientos suficientes para replicar, acercándose bastante, los resultados del maestro: la famosa metanfetamina de color azul, que es un motivo de orgullo para Walter White como químico y que ha hecho que, en el mundo real, haya fabricantes que añadan ahora colorante azul a raíz de la popularidad de la serie.

¿Existe la metanfetamina de color azul?

Si hay un elemento constantemente presente a lo largo de la serie, este es la metanfetamina, a la que a menudo los personajes se refieren simplemente como meta o cristal. Su fórmula ($C_{10}H_{15}N$) y su masa molecular (149,24) componen la primera imagen de los títulos de crédito, antes incluso de que aparezca el propio nombre de la serie sobre un fondo con parte de la tabla periódica. Sus orígenes se remontan a la Antigüedad. Desde hace más de 5000 años, la medicina tradicional china viene usando un extracto de efedra, un arbusto que crece en climas secos, para el tratamiento del asma, la bronquitis y otros problemas que afectan a la respiración. En 1885, el físico-químico japonés Nagai Nagayoshi aisló la efedrina, el principio activo de la efedra, y a partir de ella, en 1887, el químico rumano Lazar Edeleanu sintetizó por vez primera la anfetamina. Poco tiempo más tarde, en 1893, Nagai obtuvo metanfetamina por reducción de la efedrina, y en 1919, el químico japonés Akira Ogata sintetizó metanfetamina cristalizada. Sin embargo, estos descubrimientos no tuvieron repercusión pública hasta que en 1932 la empresa farmacéutica Smith, Kline and French comercializó inhaladores (y poco más tarde tabletas) de anfetamina con el nombre comercial de Benzedrina para aliviar la congestión nasal. Este producto y los que le siguieron eran considerados inocuos, por lo que podían obtenerse sin receta en las farmacias.
La metanfetamina llegó a adquirir un estatus de droga milagrosa. En pocos años se recomendaba para más de 30 problemas: narcolepsia, epilepsia, fatiga, depresión, esquizofrenia, alcoholismo, adicciones, enuresis, mareos, dismenorrea, cólicos, obesidad, hiperactividad, etc. Inicialmente se consideraba una droga segura que podía ser fumada, inhalada o inyectada. Sin embargo, era altamente adictiva, lo que condujo a un abuso de ella.

Durante la década de 1930 se descubrieron los efectos psicoestimulantes de la metanfetamina, que producen una sensación de gran euforia debido a que aumenta la liberación de dopamina, un neurotransmisor que interviene en los mecanismos de recompensa y motivación, lo que facilita la adicción a la sustancia.
La metanfetamina permite un ritmo elevado de trabajo y una gran capacidad de concentración, reduce la fatiga y el apetito, y el ritmo cardiaco se vuelve más rápido e irregular. Si se consume habitualmente pueden producirse cambios irreversibles en el cerebro, psicosis, déficits cognitivos y alteraciones del comportamiento.
La Segunda Guerra Mundial llegó cuando se conocían ya los efectos positivos de las anfetaminas (aumento del rendimiento físico y mental, resistencia al cansancio), pero aún no se habían comprobado suficientemente sus posibles efectos negativos. O tal vez a los militares algunos de estos efectos les parecían útiles, como la violencia gratuita, la ignorancia del peligro o los ánimos desmedidos. Así, se distribuyeron cientos de millones de «píldoras milagrosas» entre los soldados para mantenerlos eufóricos y agresivos, y para «elevar la moral del ejército». Las tropas nazis usaban una metanfetamina denominada Pervitin, y los estadounidenses y británicos la anfetamina Benzedrine. A los pilotos kamikaze japoneses se les suministraban grandes dosis de metanfetamina para que llevaran a cabo sus ataques suicidas. Una consecuencia del consumo masivo de anfetaminas por parte de los soldados fue que las décadas posteriores vieron un crecimiento

acelerado del uso de estas drogas, al tiempo que los gobiernos tomaban conciencia de sus devastadores efectos en la sociedad. En 1970, el gobierno de los Estados Unidos las declaró ilegales, pero a pesar de ello la metanfetamina continuó siendo muy usada. En 1996 se promulgó un decreto para regular el acceso a los ingredientes básicos usados para su fabricación, como la efedrina y la pseudoefedrina, y se aumentaron las penas por posesión, distribución y producción de la droga.

Los procesos necesarios para la obtención de metanfetaminas son conocidos desde hace más de un siglo, por lo que un químico como Walter White puede reproducirlos siempre que tenga acceso a los componentes necesarios, disponga del equipamiento adecuado, adopte todas las precauciones y trabaje con rigurosidad, puesto que cualquier pequeño error puede resultar fatal. En la serie, Walter empieza utilizando un procedimiento estándar y más tarde se vale de otro que le permite obtener la «meta azul». El primer método es conocido también como «ruta Nagai», tomando el nombre de Nagai Nagayoshi, que ya hemos mencionado. Las sustancias básicas necesarias para este proceso son la pseudoefedrina, el yodo y el fósforo rojo. La pseudoefedrina es un diastereoisómero de la efedrina, se encuentra en las plantas de efedra y se utiliza comercialmente para el tratamiento de la congestión nasal. En el primer episodio de la serie, Walter la obtiene del medicamento Sudafed, aunque se encuentra también en otros muchos.
La extracción suele producirse mediante molido, mezcla con diversos productos, filtrado y evaporación. El producto resultante se trata con yodo y fósforo rojo, lo que arranca un grupo alcohol de la pseudoefedrina y favorece su transformación en metanfetamina. Las restricciones de acceso a los medicamentos con pseudoefedrina dificultan la obtención de importantes cantidades de esta, lo que es un problema de este método. Por ello, en el séptimo episodio de la primera temporada Walter cambia a otro método que debe permitirle obtener metanfetamina en mayores cantidades, el método P2P.

Este proceso sintetiza la metanfetamina mediante la reacción de la fenilacetona (fenil-2-propanona, abreviado a P2P por el nombre en inglés: *phenyl-2-propanone*) con la metilamina (un gas que huele a amoniaco).
La fenilacetona es difícil de encontrar fuera de los laboratorios de investigación, pero puede obtenerse por diversos métodos a partir del ácido fenilacético. En cuanto al otro componente necesario, la metilamina, también es posible obtenerlo a partir de otros, pero en la serie optan por robarlo. De hecho, el robo de metilamina proporciona a la serie una excusa para articular dos de sus mejores secuencias. Una de las características de *Breaking Bad* es la meticulosidad y el detalle con que narra procesos que en otras ficciones serían explicados de manera más breve. En cambio, ambos hurtos son planificados a conciencia por los protagonistas, dando lugar a escenas en las que todo tiene que salir bien, manteniendo en tensión al espectador. En el séptimo episodio de la primera temporada roban por primera vez un barril de metilamina de un almacén, pero el robo más recordado seguramente es el del quinto episodio de la quinta temporada, que es un asalto a un tren que recuerda a un wéstern (un género que es una influencia recurrente de *Breaking Bad*). Otros productos necesarios para este método son el aluminio y el cloruro de mercurio. Aparentemente, con este sistema Walter White consigue producir una metanfetamina de gran calidad y con un llamativo color azul que la distingue y que sorprende a Tuco, a quien tienen que entregar la droga. Decimos «aparentemente» porque en este punto la serie abandona la realidad científica que había mantenido hasta ahora. Para explicarlo, debemos definir un concepto: la quiralidad.

Las moléculas orgánicas están formadas por cierto número de átomos de los que hay siempre uno o varios de carbono acompañados de otros, a menudo hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre u otros. Los átomos se unen unos a otros según ciertas reglas (la valencia de cada tipo de átomo determina a

cuántos otros está conectado) formando estructuras que les confieren sus propiedades químicas. El tipo y el número de átomos que forman una molécula se expresa mediante la denominada fórmula molecular. Por ejemplo, la de la metanfetamina es $C_{10}H_{15}N$, lo que indica que está formada por 10 átomos de carbono, 15 de hidrógeno y 1 de nitrógeno. Sin embargo, en algunos casos un mismo compuesto puede existir en dos configuraciones simétricas, quirales (como vistas a través de un espejo), y entonces decimos que son enantiómeros, también llamados isómeros ópticos, y los distinguimos prefijando el nombre con una S (del latín *sinister,* izquierdo) o una R (del latín *rectus,* derecho). Ambas versiones tienen las mismas propiedades físicas (excepto la interacción con la luz polarizada) y generalmente las mismas propiedades químicas (excepto cuando reaccionan con otras moléculas quirales). En el segundo episodio de la primera temporada Walter lo explica de esta manera: «Así como la mano izquierda y la mano derecha son imágenes simétricas una de otra, así dos compuestos orgánicos existen como formas especulares uno del otro».

Sin embargo, la similitud entre ambos enantiómeros no es completa, y ello afecta de manera importante a sus efectos en el organismo. Mientras uno es un potente estimulante, fuertemente adictivo y con graves efectos a largo plazo, el otro es un descongestivo nasal que constituye el ingrediente activo de los inhaladores Vicks. Así pues, la pureza del producto resultante con el método P2P es tan solo del 50%, y si queremos obtener una metanfetamina pura debemos eliminar el segundo enantiómero mediante un proceso lento y costoso. Podemos suponer que Walter White descubrió la manera de obtener fácilmente un producto puro, que en principio sería de color blanco. Sin embargo, desde el punto de vista de la historia, el hecho de que la metanfetamina que fabrica Walter White se pueda identificar a simple vista es algo imprescindible. De aquí que se opte por darle un color único que recalque la excepcionalidad del producto que ha logrado Walter White, puesto que no hay otra metanfetamina igual, lo que es fundamental para establecer el valor que tiene el personaje para los traficantes: todos le quieren a él para que fabrique esa «meta azul» y por ello le consideran necesario. El nombre de «meta azul» también sirve para identificar la droga de Walter White en la calle, entre los compradores, y hacer que la leyenda de su fabricante crezca. Pero todo esto ya no tiene nada que ver con la ciencia.

¿Se podría llevar a cabo el atraco del tren?

Quedémonos un momento con la escena del tren y así descubriremos más características de la metilamina. En el episodio, recordémoslo brevemente, Walter White recibe la información de que un cargamento de metilamina circulará en ferrocarril desde Long Beach a Texas a través de Nuevo México. El trayecto pasa por una extensa zona desértica en la que no es posible ningún tipo de comunicaciones. La idea de Walter es disponer un camión aparentemente averiado atravesado sobre la vía para obligar al tren a detenerse. El lugar elegido se halla junto a un puente que dificulta la visibilidad, de modo que Walter y los suyos pueden trabajar sin ser vistos. Allí han dispuesto unos depósitos de 1000 galones (un galón estadounidense equivale a 3,78541178 litros). Uno de ellos, vacío, está destinado a contener la metilamina que extraerán del vagón, y el otro está lleno de agua. El propósito de este último es sustituir la metilamina robada, para que la compañía del ferrocarril no detecte la diferencia de peso entre la salida y la llegada del convoy.

La metilamina (CH_3NH_2) puede presentarse en forma de gas o diluida (en agua, en metanol, etc.). En una escena que solo aparece en la versión en Blu-ray, Walter especifica que la metilamina en el ferrocarril estaba diluida en agua al 40% (lo que suele ser bastante habitual). Con esta dilución, su densidad es de aproximadamente 890 kg/m^3, y como 1000 galones

equivalen a 1000 × 3,78541178 ≈ 3785 litros = 3,785 m^3, el peso de la metilamina extraída es de 3,785 × 890 ≈ 3369 kg. Si queremos compensar este peso con el equivalente en agua deberemos introducir los mismos 3369 kg de agua, y dado que la densidad del agua a unos 25 °C es de 0,997, ello equivale a 3369/0,997 = 3379 litros, o lo que es lo mismo, 3379 / 3,78541178 ≈ 893 galones.

¿En cuánto ha variado la concentración de metilamina? Al principio el tanque contenía 24.000 galones, de los cuales el 40% correspondían a la metilamina y el resto al agua. Tras extraer 1000 galones de dilución y sustituirlos por agua quedaron 23.000 galones de la dilución original y otros 1000 galones de agua, y por tanto la concentración de metilamina será de (23.000 × 0,4) / 24.000 = 0,383. Es decir, la cantidad de metilamina final respecto a la que había originalmente es 0,383 / 0,40 = 95,75%. Es factible pensar que la empresa pueda atribuir la diferencia a que el fabricante ha reducido algo el grado de dilución.

De todas maneras, los cálculos anteriores se ajustarían a la realidad si los trabajos se pudieran realizar en condiciones de laboratorio, pero como vemos en el episodio, ello dista mucho de ser así. Los problemas que hay que tener en cuenta son de distintos tipos. El primero es la cantidad de líquidos (metilamina diluida y agua) que quedan en las tuberías, o que se pierden al conectarlas y desconectarlas. El segundo es consecuencia de la necesidad de reducir el tiempo total de la operación, para lo que se empieza a introducir el agua por la parte superior del tanque sin esperar a que haya terminado de recogerse la metilamina, lo que puede provocar que parte del agua introducida vuelva a salir por el fondo. Todo ello genera dos tipos de alteraciones que se suman a las previstas, aumentando así la probabilidad de ser detectadas cuando al final del trayecto la compañía haga las comprobaciones reglamentarias. Sin embargo, el riesgo es algo que debe ser aceptado en este tipo de operaciones, por lo que en conjunto el procedimiento técnico resulta realista.

¿Se puede eliminar un cadáver en una bañera?

Como químico metido en un mundo criminal, Walter White a menudo recurre a sus conocimientos de un campo para resolver problemas del otro. Una de las escenas más sorprendentes de la primera temporada de la serie es la de la bañera, cuando los protagonistas de *Breaking Bad* se deshacen del cadáver del traficante Emilio mediante su disolución en ácido fluorhídrico, una solución de fluoruro de hidrógeno en agua. El ácido fluorhídrico fue descubierto en 1771 por el químico sueco Carl Scheele. Es un producto muy peligroso, que penetra las capas exteriores de la piel de manera que las quemaduras pueden ser inicialmente indoloras y mientras tanto el ácido ataca a los músculos y los huesos. Si la exposición afecta al 10% de la superficie corporal, el resultado puede ser la muerte. Además, el ácido fluorhídrico interfiere con el metabolismo corporal del calcio, lo que afecta a todos los órganos y puede causar edemas pulmonares y arritmias cardiacas. En forma gaseosa puede dañar permanentemente las córneas de los ojos. Es altamente corrosivo, por lo que debe ser almacenado en recipientes de plástico, no de metal ni de vidrio (precisamente el grabado del vidrio se realiza recubriéndolo con cera, quitando esta de las áreas que se quiere grabar y tratando el objeto con ácido fluorhídrico que ataca las partes descubiertas). Jesse no sigue las instrucciones de Walter y en lugar de usar un contenedor de plástico pone el cadáver en una bañera, obteniendo el enfado de Walter White, que le dice que tenía que ser «en ese estúpido contenedor de plástico que te pedí que compraras. El ácido fluorhídrico no disuelve el plástico. Sin embargo, disuelve metal, piedra, cristal, cerámica...». Efectivamente, la bañera se disuelve por el ácido, provocando que los restos de cadáver, bañera y suelo caigan al piso inferior dejando un agujero en el suelo.

¿Cómo puede ser que un producto que es capaz de destruir un cuerpo humano e incluso una bañera no pueda disolver el plástico? Empecemos definiendo los conceptos de ácido y base. Un ácido es una sustancia que cede protones (H^+, átomos de hidrógeno cargados positivamente) y una base es una sustancia que acepta protones. Un ácido y una base pueden reaccionar entre sí neutralizando sus propiedades y produciendo una sal. Un ejemplo simple es la combinación del ácido clorhídrico (HCl) con el hidróxido de sodio (NaOH), que produce la sal común (NaCl) y agua (H_2O) según la reacción $HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$. Los ácidos pueden ser fuertes o débiles según si ceden fácilmente sus protones o lo hacen solo en parte, y en este sentido el ácido fluorhídrico es considerado relativamente débil. En el programa de televisión *Mythbusters* pusieron a prueba la eficacia del ácido fluorhídrico para la destrucción completa de un cadáver. En una sala del laboratorio de química de la Universidad de California en Berkeley dispusieron diversos materiales semejantes a los que aparecían en la escena de la serie, incluido un cerdo en el papel de Emilio. Tras 8 horas sumergidas en ácido hidrofluórico, ninguna de las muestras quedó completamente descompuesta (a excepción tal vez del cerdo, aunque con el triple del ácido utilizado en la serie), por lo que se concluyó que lo que se mostraba en el episodio no se ajustaba suficientemente a la realidad. Sin embargo, eso no impidió a los creadores seguir utilizando este método a lo largo de la serie para que los protagonistas hicieran desaparecer cadáveres. Así acabaron (vienen *spoilers*) Victor, Drew y Mike.

¿Son realistas los explosivos que usa Walter White?

Otro recurso que utiliza Walter White es el fulminato de mercurio. En el sexto episodio de la primera temporada, ante las amenazas de Tuco Salamanca, Walter lanza violentamente un pequeño cristal que explota haciendo estallar todas las ventanas del apartamento. ¿Puede un pequeño cristal causar este efecto? El cristal en cuestión era fulminato de mercurio: $Hg(CNO)_2$. Como su fórmula indica, está compuesto de mercurio (Hg), carbono (C), nitrógeno (N) y oxígeno (O). Es relativamente fácil de sintetizar, disolviendo mercurio en ácido nítrico y añadiendo etanol a la solución. Suele presentarse en pequeños cristales, como el que utiliza Walter. Es muy inestable, lo que le hace difícil de manejar, y puede explotar si se le somete a fricción, calor, electricidad o presión. Por ello está considerado como un explosivo primario. La escena en la que Walter White usa este explosivo tiene un problema parecido al del cadáver en la bañera: el efecto que muestra se ajusta a la realidad, pero seguramente necesitaría una cantidad mucho mayor para que sucediera tal como ocurre en la serie. Además, con esta carga explosiva probablemente ni Walter ni los que con él estaban habrían sobrevivido, en especial teniendo en cuenta que Walter tenía en la mano una gran cantidad de fulminato que seguramente habría explotado causando un daño aún mayor. Asimismo, la detonación produciría una lluvia de polvo de mercurio metálico que cubriría gran parte de la superficie de la habitación. Cualquier objeto que no fuera de hierro o acero absorbería el mercurio y se rompería en pocos días. Los vapores de mercurio resultantes harían el lugar inhabitable por mucho tiempo.

Otro explosivo que utiliza Walter White es la termita, que usa para destruir el candado de un almacén (precisamente para robar el barril de metilamina que mencionábamos antes). La termita es una mezcla polvorienta de aluminio y el óxido de un metal como el hierro. Cuando se enciende genera una enorme cantidad de calor como resultado de la combinación química del aluminio con el oxígeno del óxido. La temperatura de la reacción es de alrededor de 2400 °C. La reacción es $2Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe$. Fue descubierta por el químico alemán Hans Goldschmidt en 1895 y se usa en bombas incendiarias, y para el trabajo del hierro y el acero en las fundiciones. Para obtener el polvo de

aluminio que necesita para producir la termita, Walter se vale de diversos juguetes tipo *Telesketch* (esas tablillas con una pantalla y dos botones rotatorios que permiten hacer dibujos). La cara interior del vidrio de la pantalla está cubierta de polvo de aluminio, así que esta escena es creíble desde un punto de vista científico.

¿Es tan fácil envenenar con ricina como aparece en la serie?

Como sucede con los explosivos, Walter White echa mano de sus conocimientos científicos para hacer lo que otros criminales resolverían con una pistola. Así, los venenos forman parte de sus recursos. En concreto, utiliza ricina varias veces durante la serie, pero seguramente la más impactante es la que tiene como víctima (cuidado, que vienen *spoilers*) a Brock. Matar a un niño es una línea roja para el personaje que marca la etapa final de su arco de transformación. La ricina es un veneno que se encuentra de forma natural en las semillas de ricino *(Ricinus communis).* Descubrimientos arqueológicos muestran que esta planta se conoce desde tiempos prehistóricos y que era utilizada con fines médicos desde el antiguo Egipto, hasta el punto de que en un tratado médico anterior al 1500 a. e. c. (el papiro Ebers, del año 8.° del reinado de Amenhotep I) se dedica un capítulo entero al aceite de ricino, al que se atribuyen propiedades abortivas, laxantes e incluso contra la calvicie. De esta planta se extrae el aceite de ricino, un producto que tiene propiedades medicinales (principalmente como purgante) y se usa también para la fabricación de cosméticos, plásticos, lubricantes y pinturas, entre otros. Aunque el aceite de ricino ha sido utilizado durante milenios, la ricina no fue descubierta hasta 1888 por el químico Peter Hermann Stillmark cuando realizó su tesis doctoral en la Universidad de Dorpat (actualmente Tartu, en Estonia). Es una de las sustancias más tóxicas conocidas. La ricina purificada se presenta como un polvo blanco soluble.

En caso de ser ingerida, sus primeros efectos son diarrea y vómitos que producen una fuerte deshidratación y un descenso de la presión sanguínea. Y puede derivar en convulsiones y cese del funcionamiento del hígado, el bazo y el riñón, y la persona puede morir. La ricina es todavía más peligrosa (unas 900 veces) si es inhalada, en cuyo caso los síntomas más probables son dificultad para respirar, fiebre, tos, náuseas y rigidez en el pecho. Se puede producir edema pulmonar y fallo respiratorio que produzca la muerte. Incluso pequeñas dosis pueden resultar mortales, ya que la ricina inhibe la síntesis de proteínas y provoca la apoptosis de las células (una forma de muerte celular programada). La muerte puede producirse entre 36 y 72 horas tras la ingestión o inhalación. No existe ningún antídoto contra ella, y únicamente si ha transcurrido menos de 1 hora desde la ingestión puede intentarse un lavado de estómago o el uso de carbón activado para absorber el veneno del tracto gastrointestinal. Debido a sus características, la ricina constituye una posible arma biológica, fácil de preparar y de efectos mortales. De hecho, ya fue experimentada por varios países durante las dos guerras mundiales y continuó investigándose posteriormente. En 1978, Georgy Markov, un exiliado búlgaro que vivía en Londres, fue asesinado mediante un pinchazo en la pierna hecho con la punta de un paraguas que contenía una minúscula cápsula con ricina, que le provocó la muerte en 3 días.

¿Es posible la manera de morir de Gus Fring?

Es uno de los momentos icónicos de la serie. Héctor empieza a hacer sonar su timbre, Gus se da cuenta de lo que ocurre y grita, pero es tarde. Se produce una explosión que vemos desde el exterior y, segundos después, Gus sale de ella andando y ajustándose la americana. Creemos que ha podido sobrevivir de alguna manera. Entonces la cara se acerca y le vemos el rostro, desfigurado, y que le faltan parte de la mandíbula y un ojo. Se desploma. Vamos a considerar esta escena desde un punto de vista científico, en concreto del mecanismo de «lucha o huida» descrito en 1915 por el fisiólogo norteamericano Walter Bradford

Cannon. Se trata de una reacción fisiológica que se produce de modo automático cuando un animal, incluidos los humanos, detecta un peligro o se siente amenazado, y que prepara al organismo para responder a la amenaza, ya sea combatiéndola o huyendo de ella. En el caso de los humanos, el mecanismo es esquemáticamente el siguiente. Al detectar el peligro, el hipotálamo (una pequeña parte del cerebro, encargada del equilibrio hormonal del cuerpo) activa dos sistemas: el sistema nervioso simpático y la corteza suprarrenal. Cada uno de ellos utiliza un camino específico para iniciar reacciones en el cuerpo: el sistema nervioso simpático utiliza las vías nerviosas, mientras que la corteza suprarrenal se vale del torrente sanguíneo.
La activación del sistema nervioso simpático en general tiene el efecto de poner en alerta el cuerpo, acelerándolo y tensándolo. Para ello, envía impulsos a las glándulas y a la musculatura lisa, y hace que la médula suprarrenal libere en el torrente sanguíneo adrenalina y noradrenalina, dos hormonas que aceleran el rimo cardiaco y la presión sanguínea, y que pertenecen a un grupo de compuestos conocidos como catecolaminas. Al mismo tiempo, el hipotálamo libera el factor de liberación de corticotropina en la glándula pituitaria, activando el sistema córtico-suprarrenal.
La glándula pituitaria secreta la hormona adrenocorticotropa, que a través del torrente sanguíneo llega a la corteza suprarrenal, donde activa la liberación de unas 30 hormonas diferentes para preparar al cuerpo a enfrentarse con la amenaza.

Todo ello genera importantes cambios en el organismo: aumento del ritmo cardiaco y de la presión sanguínea, elevación de la glucosa en sangre, relajación de los músculos lisos para permitir más oxígeno en los pulmones, constricción de las venas más exteriores para favorecer el riego de los músculos principales, dilatación de las pupilas, desactivación de la digestión para favorecer las funciones de emergencia, y centrado de la actividad cerebral en la amenaza. En el caso de Gus, la explosión provoca la activación del mecanismo de huida o lucha (en este caso, huida). Casi instantáneamente su organismo empieza a activar y consumir todos sus recursos con el fin de escapar, mostrando una aparente normalidad. Durante unos instantes consigue mantenerse en pie e incluso avanza unos pasos, hasta que los recursos disponibles se agotan y Gus cae inerte. Esto es coherente con la experiencia que tenemos en conflictos bélicos. Soldados que en el campo de batalla han visto morir a compañeros en situaciones parecidas refieren que en los primeros momentos los accidentados no son conscientes del daño que han sufrido e intentan continuar de un modo automático como si nada hubiera pasado. Algunos que han perdido parte de la cabeza hablan unos instantes como si nada hubiera pasado hasta que otro soldado les advierte de su lesión. Otros intentan caminar, pero caen porque les falta una pierna, o se quejan de que algo les está frenando, sin darse cuenta de que lo que les detiene son sus intestinos que están colgando fuera de la cavidad abdominal. Normalmente estas reacciones instintivas acaban cuando el organismo agota los recursos de emergencia y entonces el afectado pierde el conocimiento o muere. Este es un comportamiento similar al de Gus, por lo que podemos decir que su muerte es razonablemente realista.

¿Por qué Walter usa el *alter ego* de Heisenberg?

Cuando Walter White escoge un alias para sus actividades en el mundo de la droga se decide por «Heisenberg». ¿Por qué utilizar el apellido del físico teórico alemán Werner Heisenberg (1901-1976), que fue Premio Nobel de Física en 1932 por la creación de la mecánica cuántica? En la serie, Walter White participó en trabajos de investigación que ayudaron a un equipo de científicos a ganar un premio Nobel, como ya hemos mencionado. Esto podría llevar a los guionistas a pensar en Heisenberg, pero hay otras razones más significativas en la biografía del físico alemán. Y es que, por un lado, Heisenberg es conocido por sus méritos como científico: vio que el modelo de estructura del átomo de

Bohr solo era válido para átomos muy simples y decidió mejorarlo.
Sus trabajos, junto con los de otros grandes científicos como Max Planck, Erwin Schrödinger y Paul Dirac, condujeron al nacimiento de la mecánica cuántica que cambió nuestras ideas sobre la naturaleza de la realidad a escalas atómica y subatómica. Su trabajo le valió el Premio Nobel de Física de 1932. Pero por otro lado también es conocido por su relación con el régimen nazi, que en 1939 le llamó a participar en el programa nuclear alemán que pretendía crear una bomba atómica. No está claro su grado de participación. Sin embargo, en 1941 acudió a Copenhague, entonces ocupada por los nazis, donde tuvo una larga conversación con Bohr, tras la cual este manifestó que la amistad entre ellos había terminado para siempre. Al final de la guerra, Bohr fue encarcelado en Gran Bretaña durante 6 meses. Falleció en 1976 en Múnich, por un cáncer de riñón.

Podemos ahora responder a la pregunta inicial: ¿por qué los guionistas usan el nombre de Heisenberg? La vida del físico alemán estuvo repleta de grandes éxitos, pero a la vez incluyó épocas muy oscuras, lo que nos hace dudar de cuál es el auténtico Heisenberg. Del mismo modo, en la serie encontramos un Walter que empieza como una buena persona, un profesor de química amante de su familia, y va transformándose en un señor de la droga que no se detiene ante nada. ¿Cuál es el auténtico Walter? Esta pregunta, válida para ambos personajes, se puede unir con una escena del primer episodio de la serie, volviendo a la idea del Walter White profesor que mencionábamos al principio, en la que está en clase con sus alumnos del instituto e intenta llamar su atención de un modo que les resulte atractivo y estimule su curiosidad. Para ello, dispone sobre la mesa un mechero Bunsen y tres pulverizadores (de los que utiliza solo dos) con distintos líquidos. Enciende el mechero y luego rocía la llama alternativamente con uno y otro aerosol, haciendo que el color de la llama oscile entre el verde y el rojo. Aunque Walter no consigue su propósito de atraer la atención de sus alumnos, lo que pretendía era explicarles un fenómeno fisicoquímico que resulta útil para la identificación de ciertos productos, incluso cuando se presentan en pequeñas cantidades mezclados con otros.

Como sabemos, las moléculas de cualquier sustancia son combinaciones de átomos de diversos elementos químicos, y estos están formados por un núcleo con protones y neutrones más cierto número de electrones distribuidos en distintas capas de energía. En condiciones normales, los electrones tienden a ocupar el nivel energético más bajo disponible, pero reacciones químicas o influencias externas pueden

aumentar temporalmente este nivel. Así, si preparamos una solución de sales de metal y la sometemos a una llama, el repentino calor provocará la excitación de los electrones, que aumentarán temporalmente su nivel energético inicial para luego retornar a él mediante la liberación de energía en forma de fotones. La frecuencia de estos fotones está exactamente determinada por el salto de energía, lo que hace que pueda identificarse cada metal por el color de la luz producida. Ello nos permite suponer que Walter utilizó cloruro o carbonato de litio para el color rojo, y sulfato de cobre para el verde.

En la pizarra detrás de Walter se pueden ver las fórmulas relacionadas con el experimento:

- $\nu = c / \lambda$: la frecuencia de la luz emitida medida en hercios (Hz) es igual a la velocidad de la luz (299.792.458 m/s) dividida por la longitud de onda en nanómetros (nm). Esta frecuencia es la que determina el color que adquirirá la llama. El espectro visible alcanza desde los 380 nm (violeta) hasta los 740 nm (rojo).
- $E = h \cdot \nu$: la energía del fotón es igual a la constante de Planck ($6{,}62607015 \times 10^{-34}$ J·s) multiplicada por la frecuencia en hercios (Hz). Es decir, la energía del fotón emitido es proporcional a su frecuencia.
- $\lambda = h/m \cdot \nu$: la longitud de onda en nanómetros es igual a la constante de Planck dividida por el producto de la masa de la partícula y su velocidad (el momento). Esta fórmula fue propuesta en 1924 por el físico francés Louis de Broglie y expresa la dualidad onda-partícula (un electrón es a la vez una partícula y una onda).

Mediante este experimento, los creadores de la serie pueden hacer que Walter White se dirija a los espectadores (ocupando el lugar de los alumnos) para explicarles el eje central de la serie: qué es la transformación. «¿Qué es la química? Técnicamente la química es el estudio de la materia, pero yo prefiero pensar en ella como el estudio del cambio», dice antes de empezar a usar los distintos pulverizadores que tiene sobre la mesa. El cambio del personaje es lo que vamos a ver a lo largo de la serie y el motivo de ser de *Breaking Bad*. De este Walter White dudoso, al que sus alumnos ignoran, al Heisenberg lleno de seguridad y que provoca temor entre quienes le rodean. Del padre de familia, al señor de la droga. No son dos individuos separados. Son el mismo. En condiciones normales, este personaje tiende a ser Walter White, pero reacciones químicas o influencias externas (la falta de reconocimiento, el cáncer) pueden transformarle y convertirle en Heisenberg.

¿Podríamos viajar al mundo del revés de *Stranger Things*?

Uno de los elementos más fascinantes de *Stranger Things* es ese otro mundo en el que se adentran los protagonistas y que es una versión distinta, retorcida, monstruosa, oscura, de nuestro propio mundo. En la serie lo llaman «el mundo del revés» y también «el otro lado», con unas connotaciones distintas. El primero señala el hecho de que se trata de una versión distorsionada de la realidad que conocemos; el segundo, que es un mundo que está muy cerca del nuestro y al que se puede acceder cruzando algún tipo de puerta o barrera invisible. Esta idea se presenta muy pronto en la serie utilizando el juego de rol *Dungeons and Dragons,* al que los protagonistas son muy aficionados. Los guionistas utilizan el juego para hacer un símil entre la aventura imaginaria que estos chicos están viviendo en su cuarto y la aventura real que el grupo vivirá en la vida real. Porque en muchos sentidos, *Stranger Things* es la historia sobre cómo estos personajes se hacen mayores y se atreven a ser héroes en sus propias vidas, en vez de serlo en un tablero de juego. En la primera temporada viven una aventura increíble que tiene un paralelismo directo con el juego de mesa, con el monstruo Demogorgon siendo una de las figuras del juego (de hecho, a Will le atrapa el Demogorgon tras sacar una tirada de dados muy baja en el juego) y con Mike, que en el juego es el *rolemaster,* ejerciendo de líder en la vida real. A través de su aventura crecen como héroes y maduran. Esta idea se hace todavía más evidente en la segunda temporada, cuando se acercan a la adolescencia y se han redescubierto: Will insiste en continuar jugando a *Dungeons and Dragons,* mientras que sus amigos no están por la labor. Sin embargo, la aventura va a llamar de nuevo a su puerta.

O para ser más exactos, va a entrar en su mundo. El juego de *Dungeons and Dragons* sirve también para explicar en qué consiste ese mundo extraño que el grupo de amigos ha descubierto. En una escena de la primera temporada, Eleven gira el tablero del juego para explicar dónde está Will. La explicación es muy sencilla: un mundo que es el reverso del nuestro. En otra escena, Dustin lo compara con el Valle de las Sombras, un lugar de *Dungeons and Dragons* que es un reflejo oscuro de la realidad, con menos vida, ensombrecido. Ambas ideas, un mundo que es el reverso del nuestro y un mundo que es una versión oscura del nuestro, están presentes en muchas series y películas con elementos fantásticos o de ciencia ficción. Siendo *Stranger Things* una serie construida como un viaje nostálgico y homenaje a muchas películas, la referencia directa es *Poltergeist,* la película escrita por Steven Spielberg y dirigida por Tobe Hopper ambientada en un suburbio americano donde unos espíritus se introducen en casa de una familia y se llevan a la hija pequeña a través de un portal hacia otro mundo. A su vez, *Poltergeist* se inspiró en otra serie de televisión. Sean conscientes de ello o no los creadores de *Stranger Things,* el origen de su serie se encuentra en un episodio de *La dimensión desconocida* (el número 26 de la tercera temporada), en el que una niña desaparece mientras duerme (como la niña de *Poltergeist,* en la cama). Sus padres descubren horrorizados que no la encuentran, pero la pueden escuchar a través de una pared de la casa.
Aparentemente, en esa pared hay un portal a un mundo donde la niña ha quedado atrapada.

La idea de que existe un mundo allí, al otro lado, cercano al nuestro y potencialmente amenazador, es muy sugestiva, en especial si añadimos la posibilidad de que se cree algún tipo de comunicación entre nuestro mundo y el otro que se pueda cruzar y por donde puedan entrar intrusos. Es una idea que se asocia de manera acertada al sueño en *Poltergeist* y en *La dimensión desconocida* porque las pesadillas son precisamente eso: algo monstruoso que se introduce en nuestra realidad sin que queramos, proveniente de otro mundo que está en nuestro subconsciente, tan cercano y sin embargo tan fuera de nuestro control. De hecho, en la segunda temporada de *Stranger Things,* el personaje de Will Byers tiene pesadillas recurrentes en las que se le aparece el Mind Flyer. ¿Pero qué tiene de científicamente cierto esta idea del otro mundo que es un reverso de pesadilla del nuestro? ¿Qué dice la ciencia de esta otra dimensión llamada «el mundo del revés»?

¿Podría existir un mundo del revés?

Nuestra experiencia nos muestra el mundo con tres dimensiones, que habitualmente denominamos largo, ancho y alto. ¿Sería posible que también hubiera otras dimensiones que escapan a nuestros sentidos? ¿Y que en ellas existieran otros mundos, como el que sugieren *Stranger Things* y otras ficciones, que no podemos percibir? A la mayoría de nosotros nos cuesta mucho, o nos resulta imposible, visualizar cómo serían estas dimensiones adicionales. Para comprender la razón de esta dificultad podemos imaginar que existiera un mundo con solo dos dimensiones en el que tanto sus habitantes como todos los objetos se distribuyeran en un único plano infinito, como dibujos en una hoja de papel. Esta es la idea que condujo al profesor y teólogo inglés Edwin Abbott a publicar en 1884 el libro *Flatland: a romance of many dimensions* (traducido al español como *Planilandia*). Los habitantes de Planilandia son figuras geométricas planas: líneas, triángulos isósceles y equiláteros, cuadrados, pentágonos, etc., que representan los distintos niveles sociales hasta llegar a los círculos, que constituyen la capa más alta de la sociedad (Abbott se vale de su obra para hacer una crítica de la sociedad victoriana). Tanto el movimiento como la visión de todas estas figuras están limitados al plano que forma Planilandia. Sin embargo, aunque sus habitantes lo desconozcan, solo ocupan un plano dentro de un mundo tridimensional. En cierta parte del libro, una esfera procedente de este otro mundo atraviesa Planilandia y provoca un efecto sorprendente en sus habitantes, ya que de repente ven surgir inicialmente un pequeño círculo que va creciendo hasta llegar a un máximo, para luego empezar a disminuir hasta desaparecer del todo. Del mismo modo, si un objeto de una hipotética cuarta dimensión atravesara nuestro mundo, veríamos también que de manera progresiva parte de él va apareciendo para luego desaparecer.

Si en un mundo tridimensional pueden existir infinitos mundos de dos dimensiones, en un mundo cuatridimensional pueden existir infinitos mundos de tres dimensiones como el nuestro, y los objetos cuatridimensionales pueden moverse a través de ellos, apareciendo y desapareciendo como, en el libro de Abbott, la esfera atraviesa Planilandia. Además, no tenemos por qué pensar que cuatro sea el número máximo de dimensiones posibles. De hecho, dos de las principales teorías que pretenden explicar las partículas y las fuerzas fundamentales de la naturaleza, como son la teoría de supercuerdas y la teoría M, proponen respectivamente que nuestro universo tiene diez u once dimensiones, entre las que se incluye el tiempo. Si nuestro universo tiene todas estas dimensiones, ¿por qué solo vemos tres? (o cuatro si contamos la del tiempo). La idea más aceptada en la actualidad es que las seis o siete dimensiones adicionales están compactadas en lo que se conoce como variedades de Calabi-Yau (por los matemáticos Eugenio Calabi y Shing-Tung Yau). Expresado de manera simplificada, una variedad es un conjunto de puntos dotados de cierta estructura (denominada atlas de la variedad)

que hace que cada zona sea equivalente a un espacio de determinada dimensión. Es decir, si solo miramos una pequeña parte de la variedad la veremos como un espacio plano de cierto número de dimensiones. Una manera de visualizarlo es la siguiente: supongamos que en cada punto de nuestro espacio de tres dimensiones insertamos una superficie esférica ultramicroscópica. Esta es, según la definición anterior, una variedad de dos dimensiones (latitud y longitud), ya que si miramos solo una pequeña parte de su superficie la vemos como un plano. De este modo habremos conseguido que en todos los puntos de nuestro espacio existan cinco dimensiones: las tres originales y las dos de la esfera. Ahora bien, como estas últimas tienen un tamaño finito, extremadamente pequeño, no podemos percibirlas. Para completar nuestro ejemplo, basta sustituir las esferas por variedades Calabi-Yau de seis o siete dimensiones y tendremos la idea del universo de diez u once dimensiones, de las que solo percibimos tres más el tiempo.

Si ya nos cuesta imaginar más de tres dimensiones, más difícil parece aceptar la existencia de dimensiones fraccionarias, tales como 1,25 o 2,3. Y sin embargo, existen. El primer indicio en este sentido lo dio en 1872 el matemático alemán Karl Weierstrass cuando presentó la función $f(x) = \sum (a^k \cdot \cos[b^k \cdot \pi \cdot x])$, para valores de k entre 0 e ∞, que para cierta gama de valores de a y b es continua en todos sus puntos, pero no diferenciable en ninguno de ellos. Pocos años más tarde, en 1890, el matemático Giuseppe Peano sorprendió al mundo de las matemáticas creando el primer ejemplo de una curva continua que llena por completo un espacio de dos dimensiones. Por tanto, debía considerarse que la curva de Peano tiene dos dimensiones en lugar de una. En 1904, el matemático Helge von Koch describió una curva fractal (el llamado «copo de nieve de Koch») que puede construirse a partir de un triángulo equilátero. Para ello se divide cada uno de sus lados en tres partes iguales, y en cada una de las partes centrales se construye otro triángulo equilátero. Se hace la misma operación en cada uno de los segmentos que se acaban de añadir y se sigue repitiéndolo. La figura que resultaría si continuáramos indefinidamente sería el copo de nieve de Koch, que tiene una longitud infinita y, aunque no llena el interior de la figura generada, sí ocupa una parte de ella. Fue el matemático Felix Hausdorff quien en 1918 introdujo la manera de medir la dimensión de las distintas curvas. Así, por ejemplo, la del copo de Koch es de 1,26. Un fractal muy interesante es el llamado conjunto de Mandelbrot, que a partir de una fórmula, la de la ecuación cuadrática recurrente, $z_{n+1} = (z_n)^2 + C$, genera imágenes fascinantes que el *Libro Guinness de los récords* calificó como el objeto matemático más complicado.

Así que la conclusión es que sí, que nuestros conocimientos actuales nos permiten suponer la existencia de dimensiones que escapan a nuestros sentidos, y en ellas podría haber un mundo del revés, como también cualquiera de los mundos creados por los escritores y guionistas en decenas de novelas, series y películas, que existen en una dimensión que no somos capaces de percibir. Sin embargo, hasta el momento no disponemos de pruebas que nos permitan afirmarlo con seguridad. Probablemente una prueba definitiva sería que apareciera de golpe el equivalente a la esfera de Planilandia, que es lo mismo que el equivalente del Demogorgon de *Stranger Things:* un elemento que claramente pertenece a otra dimensión y nos llevaría a aceptar la existencia de esa otra dimensión. La naturaleza de esta, en caso de que existiera, es imposible saber cuál sería. *Stranger Things* juega con la idea de que sería una versión distorsionada y oscura de nuestro mundo, pero esta parte ya es fruto de la imaginación de los creadores de la serie.

¿Es biológicamente posible el Demogorgon?

Aunque el mundo del revés parezca un mundo muy distinto del nuestro, se trata solo de una versión retorcida de este. Por ello, las características biológicas de los seres que lo habitan no están muy alejadas de las de los organismos terrestres. Por

ejemplo, el ciclo de vida de los demogorgon pasa por distintas fases que empiezan cuando la larva es introducida en el cuerpo de un huésped, en el que se alimenta durante un tiempo hasta que es expulsado por la boca. En tierra va aumentando su tamaño, le crecen cuatro patas y empieza a cazar animales más grandes (como el gato de Dustin). Ya plenamente desarrollado, adquiere una apariencia y un tamaño humanoides, con una fuerte musculatura, largas garras y una cabeza con grandes pétalos provistos de dientes en la que se abre una boca también con amenazadores dientes puntiagudos. Dejando de lado los detalles concretos, este proceso es similar al de la metamorfosis que experimentan muchos insectos, anfibios y otros tipos de animales de la Tierra. Incluso el hecho de depositar las larvas en el cuerpo de otro animal es común también a los organismos parasitoides, como es el caso de diversas especies de insectos.

Al considerar la posibilidad de la existencia de formas de vida distintas a las terrestres debemos tener en cuenta que las que existen en la Tierra han surgido de su adaptación a las características específicas de nuestro planeta. Todos los seres vivos terrestres parten de un esquema básico común, sus formas son variaciones de un mismo esquema: el ADN y el ARN combinados según un determinado código o lenguaje con cuatro bases (adenina, citosina, guanina y timina), y los mismos componentes básicos. Incluso partiendo de estas bases comunes, los seres vivos han evolucionado a lo largo de 3500 millones de años y en la actualidad se dividen en millones de especies distintas. Algunas de estas especies, conocidas genéricamente con el nombre de extremófilas, se han adaptado a la vida en condiciones extremas, entre ellas los barófilos que viven en profundidades oceánicas de más de 10.000 metros soportando una presión 1000 veces superior a la de la superficie, los termófilos que soportan temperaturas de 80 °C, los radiófilos que soportan grandes cantidades de radiación, los criptoendolitos que viven entre rocas bajo tierra incluso a más de 2000 metros de profundidad, y especialmente los tardígrados que soportan presiones de 6000 atmósferas, temperaturas desde −200 °C hasta 150 °C, radiación ionizante y resisten hasta 10 años sin agua.

En otros lugares del universo, como por ejemplo la dimensión de donde-proceden el Demogorgon y otros seres del mundo del revés, la vida podría surgir en formas muy distintas, adaptadas a las características específicas del lugar, hasta el punto de que probablemente tendríamos dificultades en identificar «aquello» como vida. Así que sí, el Demogorgon es biológicamente posible.

¿Son posibles los poderes telepáticos y telequinéticos de Eleven?

Telepatía y telequinesia son capacidades distintas, aunque relacionadas entre sí. La telepatía es la transmisión de contenidos psíquicos entre personas, sin intervención de agentes físicos conocidos, mientras que la telequinesia es el desplazamiento de objetos sin causa física, producido por una fuerza psíquica o mental. Por tanto, en ambos casos se trata de producir efectos externos, ya sea en la mente de otra persona o en un objeto, valiéndonos exclusivamente de nuestro pensamiento. Los primeros estudios sobre la telepatía y la telequinesia se llevaron a cabo entre finales del siglo XIX y principios del XX, un periodo en el que se produjeron importantes avances científicos. Se pretendía con ello comprobar la veracidad de tales fenómenos y, en caso de demostrarse, investigar los mecanismos que los generaban. Para llevar a cabo tales estudios se recurrió a magos y mentalistas famosos, aunque algunos de ellos reconocieron carecer de auténticas habilidades psíquicas y manifestaron que se valían de otros métodos para llevar a cabo sus espectáculos, mientras que otros no consiguieron los resultados esperados o sus trucos fueron descubiertos.

A pesar de que los experimentos que intentan demostrar la realidad de la telepatía o de la telequinesia

han continuado durante más de un siglo, ninguno de ellos ha podido probar la existencia real de estos fenómenos. Ello no obsta para que un gran porcentaje de personas continúen creyendo en ellos. Las estadísticas muestran que, en los Estados Unidos, el 31% de las personas creen en la telepatía y el 25% en la telequinesia, y los porcentajes son similares para la creencia en fantasmas, casas encantadas, brujas, ángeles, demonios y otros seres sobrenaturales. La tendencia a creer en fenómenos paranormales y seres fantásticos está fuertemente arraigada en el cerebro humano desde nuestros orígenes como especie, ya que de ello dependía en buena parte, y depende todavía, nuestra supervivencia. Tanto si se trataba de evitar el posible ataque de un animal que de repente aparecía entre la maleza como de esquivar un vehículo que surge de una esquina a gran velocidad, necesitamos saber si aquello que tenemos delante nuestro constituye un peligro real, y precisamos saberlo rápidamente. Es natural que este complejo mecanismo pueda fallar a menudo, generando dos tipos de errores: los falsos positivos (detectar un peligro que en realidad no existe) y los falsos negativos (ignorar un auténtico peligro). Los costes personales en uno y otro caso son muy distintos: en el primero solo se trata de un pequeño consumo innecesario de energía para escapar, pero en el segundo puede implicar serios daños corporales o incluso la vida, lo que hará que estos individuos tengan menos probabilidades de llegar a la edad adulta y dejar descendencia. Esta es la causa por la que el proceso evolutivo ha seleccionado a lo largo de millones de años aquellos individuos que asignan rápidamente una causa real a lo que puede ser tan solo una conjunción casual de objetos inofensivos. Por ello, se ha favorecido la tendencia a detectar seres y objetos donde no los hay, cosa que explica que tengamos tendencia a ver figuras en las formas de las nubes o caras en las sombras de la luna, o que encontremos relaciones de causa a efecto en lo que son meras coincidencias, o que creamos en supersticiones.

En *Stranger Things,* los poderes de Eleven se deben a los experimentos a los que fue sometida en el Hawkins Nacional Laboratory. Tales experimentos están inspirados en un caso de la vida real: el denominado Proyecto MK-Ultra llevado a cabo por la CIA (Agencia Central de Inteligencia de los Estados Unidos) y el Departamento de Defensa entre los años 1953 y 1973. Su objetivo era desarrollar drogas y técnicas (aislamiento sensorial, electrochoque, abuso sexual, hipnosis, tortura) para manipular la mente de prisioneros de guerra y líderes políticos extranjeros. Los experimentos se llevaron a cabo en presos, enfermos mentales, clientes de prostíbulos, estudiantes a quienes se ofrecían pequeñas cantidades de dinero sin indicar la naturaleza de las pruebas, e incluso en los propios empleados de la agencia, militares y otras personas sin su conocimiento. El MK-Ultra no investigó fenómenos paranormales como la telepatía y la telequinesia, pero sí lo hizo un proyecto posterior del ejército de los Estados Unidos, el denominado Stargate, iniciado en 1972.
Su objetivo era explorar las posibilidades militares de los poderes mentales que no pueden ser explicados por los métodos físicos conocidos, e incluía la psicoquinesia, la percepción extrasensorial y la telepatía.
Al parecer, los documentos de la CIA afirmaban que la Unión Soviética había demostrado la existencia real de los poderes psicoenergéticos, y en respuesta a ello algunos investigadores estadounidenses dijeron haber conseguido información detallada de lugares lejanos, lo que permitía espiarlos sin tener que desplazarse a ellos. Pero la realidad no se ajustó a estas afirmaciones, y en 1995 el proyecto Stargate fue abandonado sin haber conseguido ningún resultado positivo.

Además, los progresos de la informática, la llegada de internet y los avances de la neurociencia abrieron nuevos caminos que permitían conseguir de forma más simple y segura algunos de los objetivos perseguidos por los

anteriores proyectos. Actualmente, la comunicación de persona a persona o entre una persona y un artefacto (un dispositivo médico, una máquina, un ordenador, un juego) es posible mediante la incorporación de un casco con electrodos que captan la actividad cerebral en distintos puntos. Ello hace posible algo similar a la telepatía y la telequinesia con la única diferencia de la necesidad de una interfaz (el casco u otro dispositivo). Algunos videojuegos incluyen ya la posibilidad de ser jugados con el pensamiento, si bien los dispositivos actuales aún no son muy precisos, porque las ondas cerebrales deben atravesar el cráneo, el cuero cabelludo y el pelo antes de llegar a los electrodos, y necesitan ser separadas del ruido generado por otras partes del cerebro. Así que podemos concluir que no, que los poderes telepáticos y telequinéticos de Eleven no son posibles en la vida real. Sin embargo, progresivamente podremos simularlos de manera cada vez más efectiva mediante las oportunas interfaces cerebrales.

¿Es realista el control mental que realiza el Mind Flayer?

En la segunda temporada de *Stranger Things* se introduce una nueva criatura, o quizás deberíamos llamarla entidad, llamada Mind Flayer o también Monstruo Sombra, que controla absolutamente todo lo que existe en el Mundo del Revés: los Demogorgon, las enredaderas, diversos ciudadanos de Hawkins que han caído bajo su control mental, etc. «Es un ejército. Es como un virus. Los túneles, los monstruos, el Mundo del Revés, todo. El Monstruo Sombra está dentro de todo», explica Dustin en el octavo episodio. Todos actúan de modo coordinado siguiendo las órdenes del Mind Flayer, como si entre todos ellos constituyeran un único superorganismo sumamente poderoso del cual el monstruo es el cerebro. Este terrible antagonista de *Stranger Things* parece algo reservado solo al ámbito de la ficción, ¿verdad? Sin embargo, en el mundo real encontramos múltiples ejemplos en los que elementos individuales, que pueden ser seres vivos o incluso elementos inanimados, actúan de modo conjunto y generan un comportamiento colectivo que ninguno de ellos podría conseguir por sí mismo. Es más, a diferencia de lo que sucede en la serie, la actuación de cada uno de ellos no está guiada por ningún ser superior como el monstruo sombra, sino que es el resultado de unas pocas simples reglas innatas impresas en todos los individuos de la especie. Es lo que se conoce como inteligencia de enjambre, denominada así porque es precisamente en las colonias de hormigas y abejas donde puede observarse de modo más claro y sencillo tal comportamiento.

Las hormigas son insectos extremadamente simples, hasta tal punto de que su comportamiento puede resumirse en unas pocas reglas que cumplen de forma mecánica, como la de seguir el trazo de las feromonas dejadas por una compañera. Sin embargo, a pesar de la simplicidad de las pocas reglas que guían a las hormigas, la colonia en su conjunto tiene una sorprendente capacidad de organización. Un ejemplo de ello son las hormigas cortadoras de hojas que se encuentran en América del Sur y Central. Sus nidos son una compleja red de túneles y cámaras que puede ocupar decenas de metros cuadrados, en la que viven millones de hormigas divididas en castas físicamente muy distintas que se reparten decenas de tareas. Una casta de obreras con fuertes mandíbulas es la encargada de cortar las hojas en trozos de medida uniforme, que caen al suelo, donde las hormigas de otra casta los recogen y los transportan al nido. En una cámara de un palmo o más de diámetro (de las que puede haber cientos en un hormiguero), una tercera casta los convierte en pequeños fragmentos que mezcla con restos fecales y saliva, para formar un compuesto en el que crecerá el hongo *(Leucocoprinus)* que constituye el alimento de la colonia. Otras hormigas cuidan este cultivo con bacterias que lo protegen de enfermedades, y retiran otros hongos que puedan formarse. Algunas hormigas tienen trabajos menos agradables. Así, una casta está destinada a tratar los

residuos en cámaras especiales. Esta tarea es propensa a enfermedades, cosa que les reduce la vida a la mitad y les obliga a permanecer recluidas en los «vertederos» para evitar contagios (si alguna sale de allí, las otras la matan). Otra casta de guerreras tiene la misión de defender el nido ante ataques externos. Cada año, una o más hembras aladas recogen una pequeña porción de hongo e inician un vuelo nupcial en el que cada una se acoplará con algunos machos de otras colonias. Al acabar, descenderá al suelo, donde cavará un túnel terminado en una cámara en la que depositará el hongo y pondrá los primeros huevos (de los millones que continuará poniendo a lo largo de su vida, todos ellos procedentes del esperma inicial). De este modo empieza una nueva colonia.

Las hormigas no son el único ejemplo de inteligencia de enjambre. Lo son también las colonias de abejas y avispas, las termitas, las bandadas de pájaros (especialmente espectaculares las de los estorninos, que de este modo se protegen de sus depredadores), los bancos de peces y los rebaños de animales (también como mecanismo de protección), etc. Todos ellos merecieron la atención de los científicos de la computación de finales de la década de 1980, que apreciaron la extraordinaria eficiencia de las soluciones aportadas por la naturaleza. En 1989, Gerardo Beni y Jing Wang, de la Universidad de California en Riverside, introdujeron la expresión «inteligencia de enjambre» para denominar aquellos métodos y su posible aplicación a los ordenadores. Desde entonces, los algoritmos basados en estas técnicas han sido cada vez más utilizados en gran número de campos, en especial en optimización de soluciones, análisis de datos e imágenes, sistemas dinámicos, redes neuronales artificiales, bioinformática, reconocimiento facial, etc.

Cada especie animal o vegetal constituye una solución específica al problema de la supervivencia, adaptada a las características de la especie y de su entorno. A tal solución se ha llegado después de millones de años de evolución, que ha seleccionado las mejores opciones en un constante proceso de prueba y error. Este mecanismo es el opuesto al que los humanos utilizamos para investigar y resolver las cuestiones que se nos plantean. Cuando diseñamos una máquina o un programa informático empezamos definiendo su propósito, para luego imaginar su configuración general que iremos descomponiendo en partes cada vez más pequeñas que finalmente diseñaremos y construiremos hasta ensamblar el conjunto y comprobar que cumple la función que perseguíamos. Es decir, procedemos siempre de arriba (el

objetivo final) abajo (los elementos necesarios para lograrlo) en un proceso que es esencialmente analítico y reduccionista. Por el contrario, en la naturaleza no hay objetivos. El proceso evolutivo es sintético y holístico, y genera soluciones de abajo arriba. Parte siempre de una multitud de elementos ya existentes, generalmente muy simples, que se han mostrado útiles para otras funciones, y va ensayando de modo continuo cambios en ellos hasta encontrar alguna variación que aporte una nueva utilidad.

El método humano resulta adecuado en muchas ocasiones, pero para poder llevarlo a cabo debemos conocer un camino que nos conduzca a la solución del problema, cosa que no siempre es posible. Y aunque lo sea, a menudo el resultado obtenido es más complicado y menos eficiente que los que obtiene la naturaleza. Por ello, a finales del siglo pasado algunos investigadores empezaron a estudiar la manera de aplicar la inteligencia de enjambre al mundo de la informática y la robótica. En su forma más simple consiste básicamente en el uso de una gran cantidad de agentes muy sencillos (pequeños módulos de programa, equivalentes a los mecanismos automáticos de las hormigas) a los que se deja actuar entre ellos y con el entorno sin ningún control central. Tales sistemas mostraron pronto su utilidad en algunos campos concretos, como la logística o las comunicaciones. Las soluciones que aportan, aunque a veces parezcan contraintuitivas, una vez llevadas a la práctica suelen mostrarse mucho más efectivas y eficaces que las tradicionales.

Uno de los primeros ejemplos de aplicación de estas técnicas fue el de la compañía Southwest Airlines, que presta servicios de transporte aéreo entre muchos aeropuertos y tenía el problema de que en algunos viajes los aviones iban casi vacíos mientras que en otros no cabía toda la carga. La estrategia que utilizaban parecía razonable, ya que los empleados de cada aeropuerto intentaban colocar cada paquete en el primer avión que saliera en dirección a su destino. Cuando la compañía decidió aplicar la inteligencia de enjambre a su sistema informático, algunos de los procedimientos del nuevo sistema parecían contrarios al sentido común, como el que recomendaba en algunos casos dejar los paquetes en el avión aunque este no fuera directamente al destino de la mercancía. Sin embargo, en poco tiempo Southwest Airlines obtuvo mejoras de hasta el 80% y un ahorro de más de 10 millones de dólares anuales.

Así pues, podemos afirmar que sí existen superorganismos en la vida real, pero estos no se deben al control mental, como vemos en el Mind Flayer de *Stranger Things,* sino a instintos y mecanismos colectivos.

¿Por qué todo el mundo adora a Baby Yoda?

El último fenómeno del mundo de las series es *The Mandalorian,* ambientada en el mundo de *Star Wars,* que propone una aventura en los márgenes de la historia principal desarrollada en el cine, con un cazarrecompensas como protagonista. La serie se ha convertido en el gran éxito de la nueva plataforma Disney+, pero es difícil decir si quien se ha metido al público en el bolsillo ha sido la serie o el personaje de Baby Yoda (llamado así por los seguidores de la serie debido a su parecido con otro conocido personaje de la saga). Es difícil estimar qué importancia tiene el pequeño alienígena en el éxito de *The Mandalorian,* pero nos atrevemos a intuir que mucho. La serie es una apuesta por el espíritu aventurero de la saga galáctica que mezcla influencias del wéstern con el estilo reconocible de *Star Wars,* regado con referencias para los fans de su universo, pero el corazón de la historia lo aporta el pequeño Baby Yoda. El personaje tiene la capacidad de tocar las emociones del espectador y atraer a un público que quizás no se adentraría en *Star Wars.* Para Disney+, Baby Yoda sirve para apelar a un espectador más amplio, que incluye el público familiar (no solo el fanático de la saga) y el público infantil. Existe, por supuesto, una estrategia comercial detrás del personaje y de la voluntad de alcanzar este público, que es la de vender todo tipo de muñecos de Baby Yoda. Desde que la serie se estrenó, los diferentes muñecos del personaje han sido un éxito de ventas (de hecho, los primeros no fueron oficiales, pues Disney todavía no los había puesto a la venta cuando la serie se estrenó) y uno de los regalos más pedidos en las campañas navideñas. Las fechas en que se estrenó la serie ya estaban pensadas para que se produjera este efecto, como también las fechas de estreno de la segunda temporada, que debutó a finales de octubre de 2020 y a la que siguieron nuevos modelos del muñeco Baby Yoda, cada vez más detallistas y más caros.

¿Qué tiene Baby Yoda para que tenga tanto éxito? Sin apenas decir nada, el personaje se gana a todo el mundo, empezando por el protagonista de la serie, un cazarrecompensas que interpreta el actor Pedro Pascal (en ocasiones solo le pone la voz). La serie presenta al cazarrecompensas como un tipo duro y frío. Escondido tras un casco que no permite ver su expresión, emulando al hombre sin rostro de Clint Eastwood, y por tanto negando al espectador conocer sus emociones, el personaje se presenta como un hombre que da la vuelta al prototipo del héroe: entra en una taberna para salvar a un individuo de unos atacantes, pero solo para capturarlo y entregarlo a cambio de una recompensa. En diferentes ocasiones menciona la necesidad de tener que sobrevivir y las dificultades que ello implica, como si estuviera dispuesto a mancharse las manos si hiciera falta. En el primer episodio acepta un encargo de un cliente que está claramente relacionado con el Imperio, por lo que sabe que, sea lo que sea que quiera, no va a ser para hacer el bien. Sin embargo, a pesar de su postura de tipo duro, hay una barrera que es incapaz de cruzar. Esa barrera es la ternura que le despierta, con su manita saliendo de su pequeña cuna, la mirada de Baby Yoda. Una mirada es suficiente para que decida que no puede entregarlo al Imperio, y así empieza la travesía de los dos personajes que marca toda la estructura de la serie. ¿Pero cómo se explica que el cazarrecompensas caiga preso de este ataque de ternura? ¿Por qué el pequeño Baby Yoda ablanda el corazón de este hombre frío de vida austera? ¿Tiene esto una explicación biológica? Y si la tiene, ¿explica también el motivo por el cual el

personaje de Baby Yoda ha acabado enamorando también a millones de espectadores?

¿Qué dice la biología del encanto de Baby Yoda?

La mayoría de las personas experimentan cierta respuesta afectiva (ternura) al ver una criatura de corta edad. En 1943, el zoólogo y etólogo austriaco Konrad Lorenz sugirió que ello se debe a un conjunto de rasgos faciales y características físicas que denominó «esquema infantil» *(Kindchenschema)*. Este esquema incluye una cabeza más grande respecto al cuerpo, frente alta y protuberante, ojos grandes en relación a la cara, mejillas regordetas, nariz y boca pequeñas, extremidades cortas y gruesas, y un cuerpo regordete. Desde entonces, múltiples estudios han confirmado, concretado y ampliado esa observación, exponiendo a grupos de personas de ambos sexos a fotografías de niños, algunas de ellas reales y otras manipuladas para variar algunas de sus características, y haciendo que valorasen la respuesta que cada una les generaba. Un efecto similar se da también en otras especies animales, principalmente de mamíferos, aunque con algunas variaciones adaptadas a sus respectivas características. Es más, también nosotros los humanos nos sentimos atraídos por la lindura de algunas de sus crías, como las de perros y gatos, u otras más exóticas como los pandas. Los japoneses incluso han creado una cultura de la ternura que manifiestan en distintos campos de la vida, como la moda, la estética, la diversión o la escritura. Para referirse a ella utilizan el término *kawaii,* que podemos traducir como «adorable».

Todo ello ha sido aprovechado por la industria del cine y la televisión, los fabricantes de juguetes, y los ilustradores y creadores de cómics, que exageran cada vez más esas características para crear personajes fuertemente atractivos que después serán utilizados por todo tipo de empresas para aumentar sus ventas. Un ejemplo de este proceso lo tenemos en el personaje de Mickey Mouse, que a lo largo del tiempo ha ido suavizando sus características faciales para proporcionarle un aspecto más cercano al esquema infantil, con diversos cambios documentados por el paleontólogo y biólogo norteamericano Stephen Jay Gould, que estudió la evolución de este personaje desde 1930 hasta 1980. La misma compañía Disney es la que ha creado a Baby Yoda y le ha dotado de unas características que le hacen enormemente atractivo, lo que ha producido una reacción que no había conseguido el otro Yoda, el maestro Jedi. Sus rasgos son parecidos a los de otros personajes creados con un objetivo similar, como por ejemplo Gizmo, la criatura protagonista de *Gremlins,* la película escrita por Chris Columbus y dirigida por Joe Dante y que en los años 1980 fue una sensación similar, también con miles de muñecos del personaje vendidos en campañas navideñas (la película tiene, además, un contexto navideño). Otro ejemplo de juguete con el mismo esquema infantil es Furby, un muñeco electrónico de la empresa Tiger Electronics del que se vendieron 40 millones de unidades en solo tres años.

Los humanos experimentamos distintos tipos de emociones, pero probablemente entre nosotros haya diferencias a veces importantes entre nuestra interpretación de cada una de ellas y la intensidad respectiva con que las percibimos. Las emociones tienen su origen en la actividad neural del cerebro, en especial del tálamo, el hipotálamo, la formación reticular y la amígdala, todos ellos subcorticales. En algunos casos, la transmisión del estímulo se produce por una doble vía, la cortical (del tálamo al neocórtex, lenta) y la subcortical (del tálamo a la amígdala, rápida), lo que explica que las personas a menudo experimentan la emoción antes de que puedan comprender las razones de esta. La respuesta a tales estímulos es la producción de hormonas y otros productos químicos en cantidades adecuadas para recuperar el funcionamiento normal, o para adaptarlo a determinadas situaciones o requerimientos en ciertos periodos vitales.

Dos hormonas que tienen un fuerte efecto en las emociones que nos generan otras personas, y que por

tanto afectan a nuestro comportamiento con ellas, son la oxitocina y la arginina vasopresina, ambas presentes en la mayoría de los mamíferos. La oxitocina cumple diversas funciones relacionadas con la reproducción y favorece los vínculos sociales, el amor materno, la empatía, la generosidad, la confianza en los demás y en uno mismo, la estabilidad psicológica y la reducción de la ansiedad. Cabe señalar que, mientras que la oxitocina favorece la adhesión al propio grupo social, provoca también el rechazo a los miembros de grupos distintos (de otras etnias, religiones, ideologías, etc.). Estos efectos pueden observarse parcialmente (y temporalmente) administrando la hormona por vía intranasal. Por su parte, la vasopresina influye en gran medida en el comportamiento sexual, favoreciendo la relación con una sola pareja. Un ejemplo en el que este efecto puede observarse con claridad es el de los topillos de las praderas en Norteamérica. Estos animales constituyen una de las pocas especies monógamas de mamíferos (solo el 3% lo son). Los machos mantienen una fuerte relación con su pareja y cuidan con ella de sus crías, atacando a cualquier posible agresor. Por contra, los topillos de las montañas muestran un comportamiento promiscuo, muy distinto al de los de las praderas, pese a que se trata de dos especies muy similares. Los investigadores detectaron que ello se debe a la diferente concentración de vasopresina en una y otra especie, y observaron que el comportamiento cambiaba cuando se modificaba artificialmente tal cantidad. La influencia de las hormonas en los sentimientos hacia las crías es tan grande que muchos mamíferos, tras el parto, pasan de la aversión a los estímulos infantiles a sentir una irresistible atracción hacia ellos.

En lo que a los humanos se refiere, estudios recientes usando resonancia magnética funcional han mostrado que tanto padres y madres como personas sin hijos a quienes se mostraban imágenes y vídeos de criaturas (humanas y también de perros y gatos) mostraban una activación de la vía mesolímbica dopaminérgica, y que la intensidad de esta se relacionaba con su grado de aproximación al esquema infantil *(kindchenschema).* Asimismo, la intensidad disminuía cuando se introducía alguna pequeña modificación en una parte de la imagen que alteraba el esquema infantil.

¿Podría Mando hacer caso omiso de esta emoción?

En el caso del protagonista de *The Mandalorian,* las emociones que le produce Baby Yoda le llevan a tomar una decisión que le cambia por completo la vida: ser su guardián hasta que lo devuelva a su hogar y convertirse en enemigo del Imperio, que aunque no está en su mejor momento en el periodo en que transcurre la serie, es un enemigo nada deseable. Racionalmente, lo mejor que podría hacer Mando es entregar a Baby Yoda y seguir con su vida como cazarrecompensas. Para entender su decisión vamos a remontarnos un momento al inicio de la vida en la Tierra, que empezó hace unos 4000 millones de años y desde entonces ha evolucionado sin cesar y continúa haciéndolo expandiéndose en millones de especies distintas. Entre los individuos de una misma especie se da una variación genética más amplia cuanto mayor es su complejidad. Algunas de estas variaciones pueden hacer que ciertos individuos desarrollen un carácter más autoprotector y agresivo, mientras que otros desarrollen instintos más sociales y colaborativos con sus semejantes. Es más probable que los primeros sobrevivan el tiempo necesario para poder generar descendencia a la que transmitir sus mismos genes, lo que a la larga provocará un predominio de los genes egoístas en el conjunto de la especie. Por ello, parecería que el mecanismo evolutivo debería favorecer el egoísmo, pero no es así. Existen importantes excepciones, como la eusocialidad y las emociones sociales.

La eusocialidad es un grado extremo de socialidad que se da en casi todas las especies de hormigas, en una pequeña parte de las de abejas y

avispas, y solo en dos mamíferos: la rata topo desnuda *(Heterocephalus glaber)* y la rata topo ciega *(Spalax ehrenbergi).* Un paradigma de eusocialidad es el de las hormigas cortadoras de hojas de América del Sur y Central. Sus nidos son una compleja red de túneles y cámaras que puede ocupar decenas de metros cuadrados, donde viven millones de hormigas divididas en castas físicamente muy distintas que se reparten decenas de tareas. Las emociones sociales surgen evolutivamente en animales más complejos para proteger al colectivo o a sus crías. Un ejemplo de ello son las ardillas de tierra de Belding, en los Estados Unidos. Cuando salen en grupo en busca de alimento, una de ellas observa permanentemente la posible presencia de cualquier amenaza y si la detecta emite un fuerte sonido que hace que el resto del grupo corra a esconderse, pero en contrapartida atrae la atención del depredador sobre ella. Tal instinto protector en ocasiones resulta negativo para la ardilla centinela, pero es bueno para el grupo, y por eso la evolución lo favorece. Podemos ver muchos ejemplos de comportamiento altruista en otras especies, como lémures, leones, bonobos, delfines... y los humanos.

En los humanos, las emociones sociales generadas de forma automática coexisten con nuestra capacidad de raciocinio que nos muestra la conveniencia de ayudar al prójimo. Es como si tuviéramos dos sistemas cognitivos de características muy distintas: el S1 (emocional, intuitivo, rápido) y el S2 (racional, lógico, flexible, pero lento). Aunque solemos creer que es este último el que utilizamos para establecer nuestros juicios morales, esto solo es verdad en parte puesto que el automatismo emocional es el que predomina en nuestras valoraciones, según muestran numerosos experimentos realizados en las últimas décadas (y como saben muy bien las agencias de publicidad). A menudo, cuando se nos plantea determinada situación, surge en nosotros un sentimiento instantáneo (generado por el S1) que nos hace verla como correcta o incorrecta, sin que hayamos tenido tiempo de proceder a ningún tipo de razonamiento (que correspondería al S2) sobre su validez. Podríamos decir que esto es lo que ocurrió a Mando cuando descubrió que el objetivo de su nueva misión era Baby Yoda. Decidió que debía protegerlo antes incluso de razonar la decisión.

¿Es creíble la decisión final que toma el androide IG-11?

En el caso específico del protagonista de *The Mandalorian* hay otro elemento más. Y es que los recuerdos traumáticos de su infancia hacen que se sienta especialmente cercano a otro «niño» que se encuentra en una situación similar a la que él vivió. Este pasado es la clave para explicar otra de las características del personaje: su desconfianza hacia los androides. A lo largo de la serie rehúsa su ayuda en distintas ocasiones. Sin embargo, el androide IG-11 acaba formando parte del grupo de protagonistas de la serie y cambia parcialmente la manera que Mando tiene de ver a los androides. En el primer episodio lo considera un lastre y, a pesar de que le sirve de ayuda en un enfrentamiento armado, acaba pegándole un disparo letal cuando el androide, siguiendo sus directrices, intenta eliminar a Baby Yoda. Sin embargo, en el último episodio, cuando IG-11 funciona siguiendo unas directrices diferentes, Mando se dirige a él como si creyera que tiene emociones humanas. Esto se produce cuando IG-11 anuncia que va a sacrificarse para salvar a Baby Yoda. Para el androide es una decisión puramente lógica y racional, aunque parezca lo contrario, al tratarse de un sacrificio. «No», se niega Mando. «Te necesitamos.» «No hay motivo para estar triste», responde el androide IG-11. «No estoy triste», responde Mando. «Sí, lo estás, soy un androide enfermero, he analizado tu voz», responde IG-11, y a continuación acaricia a Baby Yoda, despidiéndose. En esta escena, el androide es capaz de identificar las emociones de Mando y, a pesar de que dice que es una decisión racional, muestra las propias al despedirse de Baby Yoda.

¿Es esta escena posible desde un punto de vista científico? En realidad, simular emociones en un

androide es algo relativamente fácil. Lo que de verdad resulta complicado es programarlo para que sepa qué emociones debe mostrar en cada momento de una interacción social, lo que requiere que sea capaz de identificar el estado emocional de su interlocutor. Los humanos somos una especie extremadamente social. Nos comunicamos unos con otros valiéndonos de la palabra, pero en general esta solo transmite una parte de la información, mientras que el resto nos llega a través de múltiples canales no verbales por los que percibimos los estados emocionales de la otra persona. Muchas de estas señales son sumamente sutiles y pueden manifestarse por las expresiones faciales, los ojos (dilatación de las pupilas, contacto visual, frecuencia de parpadeo), la voz (firme, suave, gritos, sollozos, risas), la actitud corporal (rígida, temblorosa, predispuesta, indiferente) y, en ocasiones, el contacto personal (zona tocada, intensidad, duración). Interpretar toda esta información es una tarea muy compleja que, sin embargo, la mayoría de nosotros llevamos a cabo de manera prácticamente instantánea, por lo que no somos conscientes de la dificultad que comporta. Si pretendemos que un androide interactúe de manera adecuada con los humanos, no solo debemos programarle una simulación de las emociones humanas, sino que también debe ser capaz de interpretar nuestros estados emocionales. De hecho, buena parte del código necesario para detectar las emociones ajenas servirá también para simular las propias del androide. Dado el ritmo acelerado de la inteligencia artificial, es de prever que en los próximos años veamos progresos importantes en este campo, y la mayoría de ellos probablemente surgirán en ámbitos distintos al típico androide del cine y las series. Ya en el momento actual muchas compañías (entre ellas Affectiva, Nuance Automotive, Smart Eye, Seeing Machines, Guardian Optical, etc.) están trabajando en tecnologías para detectar los estados emocionales de los conductores de vehículos. La idea es que los dispositivos analicen constantemente el estado anímico y la actividad del conductor, así como las interacciones de los ocupantes del vehículo, y a partir de ellos adopten las opciones adecuadas, como tomar el control del vehículo, disminuir la velocidad o detenerlo, y si procede, hacer una llamada a los servicios de emergencia.

Sin embargo, ¿qué sucede con la caricia del androide IG-11 a Baby Yoda? ¿Cómo interpretamos esa despedida? ¿Puede un androide sentir emoción? ¿Cómo podemos saber si un ser experimenta algo similar a lo que nosotros llamamos «sentir»? ¿Acaso podemos siquiera asegurar si un animal siente? Los

perros, los chimpancés y muchos otros animales, ante determinadas situaciones muestran expresiones que, por similitud con las nuestras, interpretamos como alegría, dolor, miedo, enfado, etc., pero no podemos asegurar si el animal experimenta realmente esas sensaciones o simplemente se deben a actos reflejos. Es más, ni siquiera lo sabemos de nuestros propios congéneres, y lo más probable es que la experiencia personal de cada uno de nosotros sea distinta. La sintiencia es la experiencia de las propias sensaciones, es lo que nos hace sentir dolor, bienestar, miedo, sorpresa, deseo, placer, etc. Si pretendemos dotar a un androide de la capacidad de sentir debemos: 1) estudiar cómo surge en los humanos y otros animales la sintiencia, y 2) cómo podemos replicar este mecanismo en los androides. El neurocientífico de origen portugués António Damásio, autor de varios libros sobre las emociones y las sensaciones, en 2018 publicó *El extraño orden de las cosas,* donde propone que las sensaciones son las expresiones mentales de la homeostasis, que es la capacidad de mantener la estabilidad del organismo compensando los cambios del entorno mediante el intercambio regulado de materia y energía con el exterior. Este mecanismo atiende constantemente a las posibles desviaciones de los distintos parámetros internos del cuerpo y toma las medidas necesarias para restablecer su estado ideal. Es el resultado de la colaboración del cuerpo y el cerebro, que interactúan mediante moléculas químicas y circuitos nerviosos. Por ejemplo, este proceso es el que tiende a mantener la temperatura de nuestro cuerpo entre 36 y 37 °C, y evita que baje de 35 °C o sobrepase los 42 °C.

En 2019, Damásio, junto con Kingson Man, de la Universidad del Sur de California, publicaron un artículo en el que proponían que cualquier androide (en general, cualquier agente inteligente) que se programe para alcanzar ciertos objetivos debe, antes que nada, tener un metaobjetivo de autopreservación, equivalente a la homeostasis de los organismos vivos. De esta manera, las máquinas que implementen un proceso de homeostasis podrán alcanzar una fuente de motivación y un mecanismo de evaluación similares a los de los organismos vivos. Gracias a ello, tales máquinas no solo exhibirán un equivalente a las sensaciones (es decir, sentirán), sino que también mejorarán su funcionalidad en un rango más amplio de entornos, además de constituir una plataforma para investigar el fenómeno de la consciencia. Por lo tanto, es posible que en el futuro ocurra una escena como la que protagoniza el androide IG-11, ya que seremos capaces de simular las emociones en un androide, y probablemente algún día podamos crear androides sintientes.

Daleks, cylons, androides... ¿Es inevitable su rebelión?

Desde antiguo los humanos hemos sentido cierta fascinación por construir objetos que reprodujeran algunos aspectos de nuestras propias capacidades. Ya en el siglo VIII a. e. c. Homero, en su *Ilíada,* describe cómo Hefesto, el dios del fuego y la forja, se vale de unas sirvientas hechas de oro «parecidas a muchachas con vida» y «duchas en artísticas labores». En aquellos tiempos no era extraño que algunas estatuas religiosas de los templos incluyeran partes que podían ser movidas de manera oculta por los sacerdotes o mediante energía hidráulica. En el siglo I e. c., Herón de Alejandría, en su libro *Autómata,* explicó cómo construir tales mecanismos. El término «autómata» procede del griego *automatos,* que significa que se mueve por sí mismo, y se aplica a cualquier instrumento o aparato que encierra dentro de sí un mecanismo que le imprime determinados movimientos, o también a una máquina que imita la figura y alguna actitud de un ser animado.

En 1920, el escritor checo Karel Čapek, en su obra teatral *R. U. R. (Robots Universales Rossum),* utilizó por primera vez la palabra «robot», que en checo significa «esclavo», para referirse a los humanos artificiales construidos por la empresa que da nombre a la obra. Vean cómo ya en su origen se pensó en el robot como una tecnología que debía estar al servicio del ser humano, ser su esclavo, por lo que la idea de los robots que se liberan de esta esclavitud, que hemos visto en tantas ficciones, incluidas las series, por supuesto, tiene su origen en el concepto mismo de robot. Como las sirvientas de Hefesto, son pensados e ideados como sirvientes. Desde entonces, el término ha evolucionado y ahora se utiliza preferentemente para denominar cualquier máquina o ingenio electrónico programable capaz de manipular objetos y realizar operaciones diversas.

El constante progreso de las tecnologías robóticas, unido a la creciente penetración de estas en nuestra vida diaria, ha hecho que proliferen una serie de términos relacionados con este mundo, cuyos significados no siempre están bien delimitados. Así, además de los ya citados «autómata» y «robot», podemos citar los siguientes: «androide» (robot antropomorfo que imita aspectos de la conducta humana), «inteligencia artificial» (conjunto de programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana), «droide» (androide, ser mecánico que posee inteligencia artificial) y «cíborg» (ser formado por materia viva y dispositivos electrónicos). Estos conceptos han alimentado la imaginación de muchos escritores y guionistas, la mayoría adscritos a géneros como la ciencia ficción, que han creado un imaginario colectivo sobre la idea de los robots y los androides (vamos a utilizar a partir de ahora estos dos términos, por ser los más genéricos). Los relatos que se construyen para la televisión han contribuido a este imaginario, en el que muy a menudo los protagonistas, humanos, son amenazados por robots. Seguramente los personajes más icónicos en este sentido son los daleks de la serie *Doctor Who,* que avanzan sin descanso al grito de *Exterminate!* Sin embargo, los daleks no son robots, sino seres mutantes, una especia de bultos verdes que poseen tentáculos y un ojo central, y que se esconden dentro de una coraza. Desde fuera parecen robots, pero no encajan en esta definición, aunque su comportamiento sea afín

al deseo de conquista de la humanidad que suele caracterizar a menudo a los robots en la ficción. Con frecuencia se utilizan como amenazas externas para los seres humanos. En otras ocasiones, la amenaza son los seres humanos. En muchos casos, sobre todo en las series más recientes, son personajes que han dado pie a hacer preguntas sobre la condición humana, sobre qué es lo que nos caracteriza. Pero empecemos por el principio y preguntémonos lo más básico.

¿Es posible actualmente crear robots parecidos a los humanos? ¿Se podría construir un androide como Vision, de la serie *WandaVision*?

En el mundo actual, la mayoría de nosotros interactuamos a menudo con dispositivos diversos que nos ayudan en nuestra vida diaria. ¿Podríamos considerarlos nuestros sirvientes o nuestros esclavos, siguiendo la definición que hemos visto de la naturaleza de los robots? Quizás es al revés y somos nosotros sus esclavos al depender en exceso de su uso. Probablemente, los paradigmas de estos dispositivos de uso diario sean los teléfonos inteligentes *(smartphones)* y los ordenadores, pero cada vez son más los artilugios a los que añadimos cierto grado de inteligencia que facilita su uso o los dota de capacidades antes inimaginables, como televisores inteligentes, asistentes virtuales (Alexa, Siri, Cortana, Aura, Bixby, etc.), realidad aumentada, casas inteligentes, aspiradoras robot, vehículos autónomos, frigoríficos conectados, etc., que facilitan la vida diaria y se convierten en indispensables. Ninguna de estas herramientas tiene el menor parecido con un ser humano, pero ello no es óbice para que interactuemos con ellas de modo intuitivo y casi natural.

Así que podríamos empezar aseverando que, de hecho, no es necesario que los robots se parezcan a los humanos para establecer una relación que implica un uso cotidiano. Sin embargo, para llevar a cabo ciertas tareas de ayuda personal (asistencia y cuidado, educación, información) sí resulta beneficioso utilizar un androide de aspecto humano, ya que ello puede facilitar una colaboración más intuitiva e incluso crear cierto vínculo entre el robot y la persona. Un ejemplo reciente es el hospital de campaña inteligente creado en la ciudad china de Wuhan para atender a 20.000 personas afectadas por la COVID-19, en el que seis tipos diferentes de robots llevaron a cabo distintas funciones, como tomar la temperatura de los enfermos, alertar a los médicos en caso necesario, entretener a los pacientes menos graves, proporcionarles información, repartirles los alimentos y la medicación, desinfectar las habitaciones o supervisar la seguridad. Con ello se logra reducir el personal sanitario necesario, así como su exposición a los virus.

Los robots humanoides también se han demostrado especialmente útiles en el tratamiento de niños autistas, quienes se sienten más confortables con el comportamiento determinista de los robots y de este modo disponen de un entorno ordenado en el que pueden desarrollar y practicar habilidades sociales (comunicación, comportamiento, atención conjunta, teoría de la mente, juegos) que les harán más fácil la interacción en el mundo real. Estos sistemas de asistencia robótica detectan el grado de respuesta comportamental del niño basándose en modelos generalizados a partir del estudio de múltiples usuarios, más otros individualizados basados en anteriores intervenciones.

En los dos ejemplos, la atención hospitalaria y el desarrollo de habilidades sociales, la apariencia humanoide de los robots es muy elemental y suele comprender solo los elementos necesarios para la funcionalidad que tienen asignada y darles una mínima apariencia humana. No tienen mucho que ver con el aspecto realista de un androide como Vision, que puede llegar a pasar desapercibido como un humano. Sin embargo, algunas compañías están trabajando para conseguir androides que algún día puedan llegar a ser confundidos con humanos. El mejor ejemplo es Sophia, un robot de apariencia

femenina de Hanson Robotics, que fue presentado en 2016 y cuya producción en serie se anuncia para finales de 2021. Su rostro expresivo, de piel artificial, le permite simular distintas emociones. Está dotada de cierto grado de inteligencia artificial para mantener conversaciones simples, procesar imágenes y reconocer caras, aunque es evidente que el camino por recorrer hasta conseguir que un androide pueda pasar por un humano es todavía largo.

También hay que tener en cuenta que, aun cuando un androide que tenga cierto parecido con un humano nos genera un mayor grado de confianza, cuando observamos a algunos androides con facciones extremadamente cercanas a las de los humanos percibimos una sensación extraña que más bien nos causa cierta intranquilidad y repulsa. ¿A qué se debe? En 1970, Masahiro Mori, profesor de robótica del Instituto de Tecnología de Tokio, se planteó esta cuestión y reunió sus consideraciones en un ensayo que tituló *El valle inquietante*. Aunque en su momento la publicación pasó casi desapercibida, más recientemente ha generado interés tanto en el campo de la interacción de humanos y robots como en el del cine de animación. Su idea general puede resumirse en una gráfica en la que la abscisa indica el grado de semejanza del robot (o de un personaje de animación) con un humano y en la ordenada representamos la atracción (positiva) o la repulsión (negativa) que nos causa al observarlo. En uno y otro caso se aprecia que al principio la atracción aumenta a medida que la semejanza es mayor, pero cuando el parecido es muy grande la curva desciende abruptamente hasta transformarse en repulsión. En suma, para responder a la pregunta que inicia este apartado, diremos que tal vez algún día podremos crear androides parecidos a los humanos, pero probablemente preferiremos que sean algo distintos.

¿Podrían los androides hacerse pasar por humanos como sucede con los cylon de *Battlestar Galactica*?

Uno de los aspectos más interesantes que la reimaginación de *Battlestar Galactica* del año 2003 incorporó en relación con la serie original, de 1978, fue que los androides que quieren acabar con los humanos, los cylon, poseen una tecnología que les permite tener un aspecto idéntico al nuestro. Esto hace que cualquiera pueda ser, secretamente, un cylon. Esta idea encajó muy bien con el escenario televisivo de una época marcada por los atentados del 11 de septiembre de 2001. En aquella época, el concepto del enemigo invisible que no se puede ver y se confunde entre los protagonistas de la historia experimentó un auge bastante predecible. Este enemigo invisible era, en la vida real, el terrorista. ¿Cómo saber quién planea cometer un atentado? ¿Cómo hacer para identificarlo sin vulnerar los derechos humanos ni caer en prejuicios que sean discriminatorios? Estas preguntas, que eran habituales entonces, tomaron distintas formas en la ficción de las series de televisión. Muchas lo abordaron de forma directa (como por ejemplo la serie *24*) y otras lo hicieron a través de la metáfora. Los cylon de *Battlestar Galactica* eran una de las más efectivas de estas metáforas.

Esto no era nuevo en televisión. Los más veteranos recordarán perfectamente la serie *V,* en la que una raza de reptiles atacaba la Tierra y también se hacían pasar por humanos. Eran los años 1980 y la Guerra Fría fue el contexto que alimentó ese imaginario. Todavía más curioso es el hecho de que los cylon de *Battlestar Galactica* original eran una raza de reptiles, que eran los que habían creado a los robots, quienes ocuparon después su lugar, adoptando su nombre. Se produjo entonces, un proceso de sustitución parecido al que los cylon pretendían llevar a cabo en la serie de 2003, en la que habían sido creados por los humanos. Ahora se hacían pasar por sus creadores. ¿Es eso posible? Para que un androide pueda hacerse pasar por un humano debe cumplir tres condiciones: tener un aspecto humano, moverse como un humano y razonar como un humano. La primera la hemos tratado en el apartado anterior, así que ahora nos centraremos en las otras dos.

La capacidad de un robot de tener movimientos similares a los de un humano es una característica interesante en diversas aplicaciones, por ejemplo en robots de asistencia doméstica, para que sean capaces de abrir puertas y ventanas, manipular los diversos aparatos y accesorios, realizar la limpieza, preparar la comida, etc. Lo mismo sucede en los androides pensados para emergencias, en especial aquellas que son demasiado peligrosas para ser atendidas por humanos, como sucedió en el accidente nuclear de Fukushima en Japón, debido a que los elevados niveles de radiactividad de los reactores podían ser letales. Por desgracia, en este caso los robots japoneses no estaban equipados con protecciones contra la radiación ni sus características eran las adecuadas para este trabajo. Por ello, los primeros robots en acceder a la planta primera de la central fueron los PackBot de la empresa norteamericana iRobot (los fabricantes del popular Roomba).

Si queremos que un androide se mueva del modo en que lo hace un humano, debemos dotarle de una anatomía similar a la nuestra, reproduciendo nuestros mismos mecanismos cinemáticos, es decir, las cadenas de huesos y articulaciones de nuestro esqueleto. Estos deben ser movidos mediante actuadores eléctricos, neumáticos, hidráulicos, piezoeléctricos o ultrasónicos. Además, son necesarios sensores propioceptivos (que informen de la posición y del estado de las articulaciones) y exteroceptivos (situados bajo la piel para proporcionar información de diverso tipo sobre los objetos en contacto con el robot). Todos ellos tienen que ser controlados por un ordenador central y eventualmente por otros sistemas especializados en tareas específicas.

El primer robot humanoide antropomórfico fue WABOT-1, construido en 1973 en la Universidad de Waseda, en Tokio, y era capaz de caminar, coger y transportar con sus manos pequeños objetos, además de disponer de un sistema de visión que utilizaba para tareas básicas de navegación. En 1984 le sucedió WABOT-2, que era capaz de leer una partitura y tocar una melodía con un sintetizador. Poco después, en 1986, Honda empezó el desarrollo de una plataforma bípeda que tras diversas fases condujo a la creación en el año 2000 de ASIMO, un humanoide capaz de interpretar órdenes orales o gestuales, y de moverse autónomamente. Desde entonces, diversas firmas han desarrollado distintos tipos de robots, entre las que destaca Boston Dynamics, que en 2013 presentó su robot Atlas, el cual progresivamente ha desarrollado la capacidad de llevar a cabo complejos movimientos como correr, dar volteretas hacia atrás, recuperarse después de ser golpeado, bailar, etc.

Pasemos ahora a la tercera de las condiciones necesarias para que un androide nos parezca humano: que razone como un humano. Para valorar si se cumple esta condición, en 1950 el matemático inglés Alan M. Turing propuso una prueba que desde entonces es conocida como el test de Turing. Consiste en disponer en tres salas separadas, solo comunicadas por teclados y pantallas de texto con el examinador, otra persona y un ordenador o un androide. Durante un tiempo determinado el examinador puede hacer preguntas de todo tipo y sobre cualquier tema a los otros dos, tratando de averiguar quién es la persona y quién es el androide. La prueba se repite cierto número de veces con distintos interrogadores y personas. Finalmente, si un porcentaje determinado de interrogadores resultan incapaces de distinguir quién es quién, entonces se considerará que el androide es un ser inteligente y pensante. Turing predijo que en el año 2000 los ordenadores serían capaces de superar el test, algo que hasta el momento no ha sucedido.

Dados los más de 70 años transcurridos desde que Turing propuso su test, y a la vista de los grandes avances llevados a cabo en el campo de la inteligencia artificial, en especial en las últimas décadas, el test debería ser reformulado para adaptarlo a las circunstancias actuales. Recordemos que los primeros resultados prácticos de la inteligencia artificial se produjeron alrededor de 1980 con los denominados sistemas expertos, que simplemente reproducían los criterios

de expertos humanos, y que poco antes de finalizar el siglo, en 1997, el Deep Blue de IBM venció al campeón del mundo de ajedrez Garry Kasparov. En realidad, Deep Blue se valía de su enorme capacidad de cálculo, pues la única inteligencia que poseía era la que le habían aportado sus programadores. Pero apenas dos décadas después se produjo un avance cualitativo, cuando en 2017 el programa AlphaGo Zero venció por 3 partidas a 0 al campeón mundial de Go, Ke Jie. La importancia de esta victoria radica en que: 1) el Go es un juego mucho más complejo que el ajedrez, y 2) AlphaGo Zero aprendió a jugar a Go por su cuenta, sin que se le hubiera enseñado ninguna partida ni se le hubiera programado ninguna estrategia. En realidad, aprendió jugando repetidamente contra sí mismo, sin más conocimiento previo que las reglas y el objetivo del juego (en 19 horas aprendió estrategias avanzadas, y en 40 días se convirtió en el mejor jugador de Go, por encima de cualquier humano). A la vista de ello, parece probable que en unas pocas décadas los androides serán capaces de moverse y razonar como los seres humanos, y puedan ser extremadamente parecidos a nosotros, como los cylon.

En *Raised by Wolves* se encarga a dos androides cuidar de unos niños. ¿Puede un androide ser una buena madre o un buen padre?

Primero debemos preguntarnos qué es ser una buena madre o un buen padre. Recopilando una selección de distintas publicaciones encontramos que una buena madre o un buen padre debe reunir las siguientes cualidades: escuchar a los hijos, mostrarles afecto, dedicarles tiempo, respetar su personalidad, quererles incondicionalmente, hacer siempre lo que es mejor para ellos, ser un buen ejemplo, ayudarles a que aprendan de sus propios errores, implicarse en sus intereses, en caso de ser varios hermanos dedicar un tiempo a cada uno en particular, tener paciencia, animarles, entenderles, respetarles, ayudarles en sus dificultades, cultivar sus talentos específicos, hacer que sientan que pueden acudir a ellos cuando lo necesiten, admitir los propios errores, encomiar sus puntos fuertes, hablarles abiertamente de todos los temas, evitar etiquetas y comparaciones entre ellos, establecer normas y límites, ser respetuosos y pacientes, ser consistentes, y aceptar a cada hijo como es. En realidad, podríamos resumirlo diciendo que una buena madre o un buen padre deben hacer lo necesario para el mejor crecimiento de sus hijos.

Programar un androide para realizar tales tareas previendo todas las posibles situaciones resultaría extraordinariamente difícil y además sería probable que surgiesen criterios encontrados entre las personas o entidades encargadas de fijar los objetivos concretos y la manera de alcanzarlos. Sin embargo, la inteligencia artificial sigue un camino por completo distinto al nuestro. Como hemos visto en el apartado anterior, es posible no programar una estrategia específica, sino simplemente indicar unas reglas y un objetivo, y es la inteligencia artificial la que descubre estrategias mejores que las de cualquier humano. Siguiendo el mismo criterio, a los androides que formen a niños debería indicárseles solo la meta a alcanzar y serían ellos quienes buscarían cómo lograrla. Sin duda, los resultados, para bien o para mal, serían sorprendentes. Eso es algo que en *Raised by Wolves* se evidencia de forma muy clara, sobre todo en el caso del personaje de la madre, que quiere hacer cumplir la misión de cuidar a los niños de una manera específica que choca con algunos criterios que hemos mencionado sobre lo que significa ser un buen progenitor. El resultado en este caso es una madre terrorífica.

Suponiendo que algún día lleguemos a una situación en la que traspasemos a los androides las tareas de procreación, cuidado y formación de nuestra descendencia, ello propiciaría un posible cambio que podría afectarnos de manera radical, pudiendo significar el paso decisivo para la desaparición o la mecanización de nuestra especie. Los androides, siguiendo nuestras instrucciones para optimizar el cuidado de nuestra prole, podrían llegar a la conclusión de que el principal obstáculo para llevarlo a

cabo es la naturaleza biológica humana, y que lo más eficiente sería traspasar directamente los genes presentes en el óvulo y el espermatozoide a un androide construido *ad hoc*. De este modo, el largo proceso de embarazo y formación infantil y juvenil, en lugar de durar de 15 a 20 años, podría completarse en un solo día de una manera mucho más segura. Evidentemente, ello implicaría que en unas pocas generaciones los humanos biológicos habríamos desaparecido de la Tierra para ser sustituidos por estas nuevas generaciones de robots.

¿Podría un androide darse cuenta de su propia condición, como sucede en la serie *WestWorld*?

En *WestWorld* se plantea un futuro en el que los androides son utilizados para satisfacer las más oscuras perversiones del ser humano, formando parte de un parque de atracciones para gente con mucho dinero donde pueden dar rienda suelta a sus peores deseos sin miedo a ningún tipo de consecuencias. Asesinar y violar forman parte del entretenimiento de este parque, que fue ideado en primer lugar por Michael Crichton, el guionista de la película *WestWorld* en 1973. Unos cuantos años más tarde, Michael Crichton volvió al escenario del parque temático con la novela *Jurassic Park,* que fue llevada al cine y resultó una película muy taquillera. En ambas historias hay un problema con el funcionamiento del parque y una huida de las criaturas que están allí encerradas para el divertimento de los seres humanos. En *Jurassic Park,* un personaje desactiva el sistema de seguridad y los dinosaurios salen de los perímetros de seguridad y atacan a los humanos. En *WestWorld* es un problema técnico, que al parecer se extiende entre los androides como si fuera un virus y hace que sean sintientes y deseen escapar y vengarse de los visitantes.

La serie de televisión parte del escenario de la película inicial ampliando la escala, tanto del proyecto del parque de entretenimiento como de la revuelta de los androides. También explora con mucha profundidad lo que significa para los androides darse cuenta de su propia condición y tener recuerdos de todo lo que han vivido en el parque, de todas las vejaciones y agresiones a las que han sido sometidos. En el capítulo dedicado a *Black Mirror* ya dimos una primera definición intuitiva de la consciencia y consideramos la posibilidad de que no sea una propiedad exclusiva de los seres humanos, sino que pueda aplicarse también, en diversos grados, a los animales. En el capítulo dedicado a *The Mandalorian* retomamos esta idea y nos preguntábamos si en un futuro más o menos cercano conseguiríamos crear androides y otros dispositivos de inteligencia artificial dotados también de consciencia. Citamos entonces al neurocientífico António Damásio y su idea de que la consciencia está íntimamente ligada a la homeostasis, el proceso interno que en los sistemas biológicos se encarga de mantener el equilibrio y la estabilidad del organismo. Ahora partiremos de aquellas ideas para tratar de responder a las preguntas que encabezan el presente apartado.

Empecemos, pues, preguntándonos cómo podría un androide ser consciente de su propia condición. Aunque existen múltiples definiciones de consciencia, consideraremos que un ser es consciente si cumple dos características básicas:

- Experiencia consciente: si es capaz de sentir experiencias corporales, mentales y emocionales. En 1974, el filósofo Thomas Nagel expresó esta idea en su célebre artículo *What is it like to be a bat?* (¿Cómo es ser un murciélago?), cuyo título sirve para destacar la diferencia entre saber cómo es un ente vivo (por ejemplo, un murciélago) o saber cómo es ser tal ente. Lo primero podemos averiguarlo fácilmente, pero lo segundo resulta imposible y como máximo podemos tratar de intuirlo. De este modo, Nagel viene a decir que para que un organismo pueda ser considerado consciente debe haber algo que sea ser aquel organismo.

- Función consciente: si es capaz de procesar e integrar información, realizar introspección y establecer un diálogo interior consigo mismo, e interaccionar con el mundo exterior.

La consciencia, como una parte de lo que llamamos mente o alma, ha sido a menudo considerada como algo distinto del cuerpo. Tal posición filosófica es lo que se conoce como dualismo, mientras que la idea de que se trata de manifestaciones de una misma entidad recibe el nombre de monismo. La visión clásica del dualismo es la del filósofo griego Platón (aprox. 428-347 a. e. c.), quien creía que las Ideas (o las Formas) constituían la auténtica realidad inmaterial, eterna y perfecta, y que los cuerpos físicos que vemos son tan solo copias imperfectas y efímeras de aquellas. Las Ideas son los conceptos con los que trabaja el intelecto, y por tanto este sería inmaterial como ellas.

Resulta significativo observar que hasta el siglo XVI solía considerarse que la cualidad de la mente que mejor justificaba el dualismo era la inteligencia, mientras que a partir del filósofo René Descartes (1596-1650) el principal argumento dualista pasó a ser la consciencia. Descartes consideraba que existen dos tipos de sustancias: la materia y la mente. Según él, en los objetos inanimados la materia sigue las leyes de la física, pero cuando el cuerpo está unido a una mente, entonces es esta la que lo gobierna. El principal problema que comporta esta idea es explicar cómo una sustancia inmaterial puede modificar el comportamiento de la materia, que es determinista por naturaleza. Para solucionarlo, Descartes propuso que la influencia tenía lugar a través de la glándula pineal (una pequeña glándula endocrina que se encuentra en el cerebro de muchos vertebrados), desde la que se esparcía al resto del cerebro.

Los progresos realizados por la neurociencia en la explicación de los procesos mentales a partir de la actividad cerebral han llevado a que hoy muchos filósofos de la mente adopten posturas fisicalistas. Incluso los dualistas reconocen la importante correlación entre mente y cerebro. Basta pensar, por ejemplo, en cómo la química cerebral puede alterar los estados de ánimo y la consciencia (mediante drogas, estimulantes, antidepresivos, anestésicos, hormonas, ansiolíticos), o cómo ciertas lesiones cerebrales provocan determinados trastornos mentales, cambios de carácter, desinhibición moral, etc. Aunque el cerebro humano y los robots actuales utilizan componentes muy distintos, en principio nada impide que algún día puedan llegar a emularse nuestros procesos mentales en androides utilizando mecanismos muy distintos de los humanos. Evidentemente queda mucho para comprender cómo emular los procesos conscientes. Una estrategia para avanzar en este campo es el estudio de los correlatos neuronales de la consciencia, es decir, el estudio neurológico de la relación existente entre las actividades concretas (experiencias) y los procesos paralelos que estas producen simultáneamente en distintas zonas del cerebro.

Cada vez más filósofos, neurocientíficos, psicólogos y especialistas en robótica o inteligencia artificial aúnan sus esfuerzos para intentar emular la consciencia biológica por otros medios; un trabajo que a día de hoy se encuentra aún en sus inicios, lo que hace que todavía exista un gran número de teorías distintas, de las que citaremos tres. La primera es la teoría de la mente, que se basa en la capacidad de atribuir estados mentales a uno mismo y a otras personas (la cognición social). Sobre esta base, en algunos laboratorios se han construido robots que incluyen un modelo de sí mismos y de su entorno, incluidos otros robots, lo que les permite una mejor interactuación e incluso prever posibles situaciones futuras.
La segunda es la teoría de la consciencia de António Damásio, que comprende una jerarquía de tres capas, cada una de las cuales trabaja sobre la anterior. El nivel más básico es un estado preconsciente, presente en la mayoría de las especies animales, que se encarga de controlar los cambios internos que afectan a la homeostasis del organismo. El segundo nivel es el

núcleo de la consciencia y surgiría cuando los cambios internos causan emociones y generan un momentáneo sentido de sí mismo. El último nivel es la consciencia extendida, que parte del recuerdo de las experiencias vividas y construye progresivamente la memoria autobiográfica. Por último, tenemos la teoría del esquema de atención, de Michael Graziano, que más que pretender generar el sentimiento de la consciencia lo que busca es cómo el robot puede afirmar que tiene una experiencia subjetiva del mismo modo que puede hacerlo una persona. La idea es que no solo construye un modelo de su estructura física, sino también de sus propios procesos de manipulación de la información, es decir, crea un esquema de atención que no solo contribuye al control de la misma, sino al tipo de afirmaciones que el robot puede hacer sobre sí mismo.

Con el estado actual de la tecnología, puede parecer que estamos todavía muy lejos (muchas décadas) de poder disponer de androides conscientes. De hecho, ahora mismo ninguno de los muchos robots y otros dispositivos supuestamente inteligentes tiene la menor idea del sentido de lo que está haciendo. Sin embargo, el ritmo acelerado de avances en el campo de la inteligencia artificial y la robótica podría acelerar este proceso. Además, cabe preguntarse si es realmente necesario que un robot sea consciente para que pueda llevar a cabo las tareas que esperamos de él.

¿Entonces es inevitable una rebelión de los androides?

La aparición del *Homo sapiens* hace alrededor de 300.000 años fue lo peor que ha podido pasarle a la Tierra en sus $4{,}54 \times 10^9$ años de existencia. Tal vez un primer indicio de nuestra peligrosidad fue que las otras ocho especies humanas que entonces poblaban nuestro planeta habían desaparecido todas 260.000 años más tarde, sin que ninguna catástrofe ambiental pueda explicarlo. Desde entonces, la actividad de los humanos ha provocado una masiva extinción de especies animales, la destrucción de múltiples ecosistemas e incluso la alteración del clima terrestre, con un impacto tan grande que ya podemos decir que la Tierra ha entrado en una nueva época geológica a la que hemos dado el nombre de Antropoceno (del griego *anthropos,* humano, y *kainos,* nuevo). Sin embargo, en lo que más se ha distinguido el ser humano es en su violencia y crueldad para con otros seres humanos. Guerras, torturas, esclavismo y todo tipo de prácticas violentas han estado presentes a lo largo de nuestra historia y continúan estándolo. Tan solo contando las muertes causadas por los conflictos bélicos de los últimos cinco siglos, estas superan los 300 millones de personas. Ello puede inducirnos a una reflexión: si el *Homo sapiens,* que se vanagloria de su inteligencia, es destructor por naturaleza, ¿será que la inteligencia es destructiva? Y si ello es así, ¿qué sucederá si la inteligencia artificial alcanza algún día un nivel superior al nuestro? ¿También nos eliminará? ¿Es por esta razón por lo que tememos que nos supere? No sabemos cuánto tardará la inteligencia artificial en lograr tal nivel y ni siquiera podemos estar seguros de que lo alcance, pero incluso si no lo hace puede causar nuestra extinción de diversas maneras. El físico, cosmólogo e investigador del aprendizaje automático Max Tegmark expone dos tipos de posibles situaciones que podrían conducir a ello:

- Armas autónomas. Cada vez más países disponen de armas autónomas gobernadas por inteligencia artificial que en principio estarían destinadas a su defensa. Su activación está controlada por rigurosos protocolos destinados a prevenir accidentes, pero suelen estar diseñadas para que una vez activadas sea muy difícil detenerlas, a fin de que el enemigo no pueda anularlas.
- Método destructivo. Alcanzado cierto nivel de inteligencia artificial, los humanos fijamos únicamente el objetivo que queremos alcanzar y los condicionantes que debe cumplir el sistema, y a partir de ahí la máquina busca el procedimiento más adecuado para conseguirlo.

> A menudo la inteligencia artificial utiliza métodos muy distintos de los de los humanos, por lo que si no hemos fijado de manera muy detallada los límites del proyecto puede ser que dañe a personas, viviendas, carreteras, etc.

Elon Musk, el magnate de SpaceX y Tesla a quien ya nos referimos en el primer capítulo de este Cuaderno, cree que la inteligencia artificial sobrepasará a los humanos en 2025, aunque de momento solo significará que «las cosas se volverán inestables y extrañas». Afirma también que sigue especialmente los avances de DeepMind, una empresa propiedad de Alphabet Inc, la matriz de Google. DeepMind desarrolló el programa AlphaZero, que ya hemos mencionado, que aprendió a jugar a Go por su cuenta y se convirtió en el mejor jugador del mundo, por encima de cualquier humano. En 2020 la empresa presentó un nuevo algoritmo, MuZero, que ha alcanzado un nivel de maestro simultáneamente en Go, ajedrez, shogi (un juego de la misma familia que el ajedrez) y Atari sin necesidad de que le fueran explicadas las reglas de estos juegos, gracias a su habilidad para planificar estrategias ganadoras en entornos desconocidos (utilizando redes neuronales profundas).

En el supuesto de producirse una rebelión, la inteligencia artificial tendría toda la ventaja, pues dominaría completamente el control de la mayoría de los sistemas críticos, o todos ellos. Sería la lucha de la clase oprimida, las máquinas inteligentes que hacen todo el trabajo, contra sus amos los humanos, que se limitan a recoger los frutos de este. Se haría realidad algo que la ficción ha estado especulando desde hace siglos y que tiene muchas raíces en la mitología. Un ejemplo es la figura del gólem, que en la cultura judía es la personificación de un ser animado fabricado a partir de un material inanimado, normalmente barro. Un rabino crea y da vida al gólem para que defienda la ciudad de Praga, pero el gólem escapa a su control y en algunas versiones de la historia provoca muerte y destrucción en la ciudad. El ser humano es castigado así por el hecho de haber intentado crear vida, es decir, de emular a Dios (Adán también fue hecho de barro según la Biblia). Por un acto parecido, el titán Prometeo, quien creó al hombre según la mitología griega, fue castigado por Zeus, el más poderoso de los dioses, que vio cómo favorecía al hombre dándole el fuego que él mismo le había arrebatado. De estas historias también bebe la de Victor Frankenstein, que fue imaginado por Mary Shelley como un hombre que intentó crear vida en una criatura que luego le causó una gran repugnancia y al que hizo experimentar un rechazo que hizo que este quisiera vengarse de su propio creador, convirtiéndose en asesino. En cierto modo, la rebelión de nuestras propias creaciones es algo que hemos estado anticipando desde mucho antes de ser capaces de crear un androide que se nos pueda asemejar.

¿Por qué Data, de *Star Trek*, tiene los mismos derechos que un humano?

En el fondo, lo que quiere la criatura de Frankenstein es ser considerada un ser humano. Obtener el reconocimiento de su creador, crear vínculos parecidos a los que ve que tienen los humanos entre ellos (lo mismo sucede con el gólem, que en algunas versiones de la historia se enamora) y formar parte de una comunidad que lo rechaza. Quizás deberíamos preguntarnos si puede ser considerado humano y si entonces tiene los mismos derechos. Esto entroncaría la reflexión con el concepto de robot-esclavo con que empezábamos el capítulo. ¿No es precisamente un esclavo alguien a quien se han negado los derechos más básicos? Es interesante fijarse en el personaje de Data, el androide de *Star Trek* que desea ser humano y sentir emociones. En este sentido, se asemeja a la criatura de Frankenstein. Hay un episodio de *Star Trek: The Next Generation,* titulado *The Measure of a Man,* de 1989, en el que el personaje vive la amenaza de un científico que quiere desmontarlo para así poder producir réplicas de Data. El personaje acaba en un juicio en el que intenta demostrar su derecho a la autodeterminación en vez de ser considerado, simplemente, propiedad de Starfleet,

un objeto del que pueden disponer como les plazca. En el juicio, Picard argumenta a favor de Data, mientras que Riker lo hace a favor del científico. Durante el proceso se establecen paralelismos con la esclavitud y se vincula el futuro de los androides sintientes con el derecho que el ser humano, como su creador, está dispuesto a darles. En la serie, el siempre idealista Gene Roddenberry, acaba ganando el juicio Data, una victoria que incluso el científico que quería desmontarlo acepta y pasa de referirse a Data como «esto» a hacerlo como «él», reconociendo así sus derechos.

En la vida real, la *Declaración Universal de los Derechos Humanos* proclamada en 1948 fija los derechos que deberían ser universalmente protegidos para todas las personas de cualquier país. A pesar de ello, en muchas partes del mundo se producen impunemente violaciones de estos derechos. Si ni siquiera respetamos los derechos de nuestros congéneres, parece difícil que algún día se los concedamos a los androides, si es que estos llegan a poseer sintiencia y consciencia de sí mismos. Probablemente durante mucho tiempo prevalecerá la consideración histórica de que son autómatas irracionales, simples esclavos que podemos usar a nuestro antojo. Sin embargo, sería conveniente fijar cuanto antes los criterios que deberán regular los derechos de los eventuales androides sintientes, por un doble motivo. En primer lugar, porque es de justicia, pero también porque no hacerlo provocaría en ellos un descontento que, unido a su capacidad cognitiva, podría desembocar en rebeliones en las que tendríamos las de perder. Para delimitar el criterio que debemos seguir podemos guiarnos por una frase del filósofo y jurista Jeremy Bentham, fundador del utilitarianismo moderno, que vivió en Inglaterra entre 1748 y 1832, y escribió (refiriéndose entonces a los animales): «La pregunta no es si pueden razonar, ni si pueden hablar, sino ¿pueden sufrir?».

Es decir, un androide debe tener unos derechos proporcionales a su grado de sintiencia. Surge, por tanto, el mismo problema que en el caso de los animales: ¿cómo podemos determinar tal grado? Dado que nos es imposible penetrar en lo íntimo de otro ser, en el caso de los animales solemos basarnos en si sus reacciones son parecidas a las nuestras. Ello favorece a aquellos cuya naturaleza nos es más próxima, es decir, los que pertenecen a una rama cercana en el árbol filogenético, como son los grandes simios (gorilas, chimpancés, bonobos y orangutanes) o los perros (algo más lejanos en el árbol, pero con una larga relación con nosotros, ya que los domesticamos hace entre 11.000 y 25.000 años). Sin embargo, hay otros animales que evolucionaron desde otras ramas evolutivas más lejanas y a pesar de ello están dotados de un elevado nivel de inteligencia, como son los cuervos, los elefantes, los delfines y los pulpos, lo que nos lleva a pensar que también poseen cierto nivel de sintiencia que les hace merecedores de derechos.

Por el momento, la posibilidad de llegar a otorgar derechos a los androides por parte de los organismos oficiales se estudia únicamente de manera indirecta de cara al futuro. Así, por ejemplo, el 16 de febrero de 2017 el Parlamento Europeo publicó una resolución con recomendaciones destinadas a la Comisión sobre normas de Derecho civil sobre robótica, que en su punto 59.f proponía «crear a largo plazo una personalidad jurídica específica para los robots, de forma que como mínimo los robots autónomos más complejos puedan ser considerados personas electrónicas responsables de reparar los daños que puedan causar, y posiblemente aplicar la personalidad electrónica a aquellos supuestos en los que los robots tomen decisiones autónomas inteligentes o interactúen con terceros de forma independiente».

A título meramente anecdótico citaremos que, en 2017, Arabia Saudita concedió la ciudadanía al robot Sophia, el primero que obtiene la condición legal de persona en un lugar del mundo. En realidad se trató de una operación de marketing, pues aunque Sophia es capaz de reconocimiento facial y

de simulación de emociones, puede imitar 62 expresiones humanas, mantiene cierto nivel de conversación y puede caminar (esto último desde 2018), está todavía muy lejos de poseer una inteligencia artificial general.

¿Puede un androide elegir por sí mismo la autodestrucción? ¿Es el suicidio el acto más grande de emancipación que puede llevar a cabo?

En *Star Trek,* el androide Data dispone de unas grandes capacidades computacionales y, sin embargo, en sus primeros años de vida experimenta grandes dificultades para comprender ciertos aspectos del comportamiento humano. Es incapaz de sentir emociones y de entender las de los humanos hasta que el Dr. Noonian Soong le instala un chip que le permite experimentarlas. Ello aumenta su deseo de llegar a ser considerado humano con todos los derechos, y cree que lo que le falta para lograrlo es morir, como nos sucede a nosotros. Por ello, pide a Picard que anule su consciencia, causándole de este modo la muerte, a lo que Picard accede e incluso le dedica un pequeño panegírico.

Aun tratándose de una ficción, el caso de Data nos sirve perfectamente para comentar dos temas intrínsecos de la naturaleza humana, como son las emociones y la muerte, contemplados desde el punto de vista de sus posibles perturbaciones: los déficits emocionales y la provocación de la propia muerte. Y es que la mayoría de las personas son capaces de sentir e identificar cierto número de emociones. En general, se considera que existen seis emociones básicas (felicidad, tristeza, miedo, disgusto, enfado y sorpresa) que se diversifican en 27, pero en nuestro idioma podemos encontrar más de 250 términos que describen distintos matices de ellas. No todas las personas experimentan cada emoción con la misma intensidad y de la misma forma, ya que ello depende de las experiencias vividas, en especial durante los primeros años de vida, y también en muchos casos de la innata estructura cerebral. Ello puede provocar dos tipos de dificultades que a menudo se mezclan entre sí y que se denominan alexitimia y entumecimiento emocional.

El término alexitimia fue introducido en 1972 por el psiquiatra Peter Sifneos y literalmente significa «no tener palabras para las emociones». Las personas con alexitimia pueden experimentar emociones, pero no son capaces de identificarlas ni describirlas, o como mucho solo distinguen que «están bien» o «están mal», lo que a menudo les dificulta comprender lo que las causa o explicar a los demás lo que sienten. Ello les dificulta también reconocer los estados emocionales de otras personas, lo que les provoca deficiencia en la empatía, como se ha demostrado en algunos estudios en los que se han comparado las respuestas hemodinámicas regionales entre grupos de personas con alexitimia y otras sin ella usando resonancia magnética funcional. La alexitimia está fuertemente relacionada con el trastorno del espectro autista, según algunos metaanálisis que muestran una prevalencia de alrededor de un 50% en personas con dicho trastorno, frente a algo menos del 5% en la población general.

La segunda dificultad a la que nos referíamos, el entumecimiento emocional, es la ausencia total o parcial de emociones (que a menudo se confunde con la alexitimia). La persona que lo sufre puede llevar a cabo sus actividades normales, pero sin sentir ninguna conexión

emocional con lo que está haciendo. Es como si estuviera desconectada de su cuerpo y de la realidad que le rodea, e incluso se siente como un extraño en su propia vida, que le parece vacía y sin sentido, y de la que es un observador más que un participante. En ocasiones, el entumecimiento emocional se produce como respuesta a una experiencia traumática, en cuyo caso puede mejorar con ayuda profesional. El entumecimiento emocional está muy relacionado con el trastorno de despersonalización o desrealización, ambos trastornos disociativos que consisten en sentimientos persistentes o recurrentes de estar separado del propio cuerpo o de los procesos mentales.

Aún hoy el acto de provocarse la propia muerte es tabú en la mayoría de los países, principalmente debido a creencias religiosas, lo que obliga a muchas personas con enfermedades terminales dolorosas a tener que soportar duros padecimientos durante tiempos a veces muy largos. En la actualidad, tan solo en seis países (Holanda, Bélgica, Luxemburgo, Canadá, Colombia, España y Nueva Zelanda) está autorizada la eutanasia. Por otra parte, en Suiza y algunos Estados de los Estados Unidos y Australia está regulado el suicidio asistido, en el que la persona termina con su vida con la asistencia de un médico que le proporciona los medios necesarios. El debate sobre la autorización o no de la eutanasia y el suicidio asistido hace que estos aparezcan a menudo en los medios, pero en cambio se habla muy poco del suicidio por otras causas, que sin embargo es mucho más frecuente, e incluso en numerosas ocasiones se oculta atribuyéndolo a otros motivos o simplemente a «causas indeterminadas». Por ejemplo, el suicidio es la décima causa de muerte en los Estados Unidos y la segunda en personas de entre 10 y 34 años (datos de 2019), y ha aumentado un 33% en los últimos 20 años.

El caso del androide Data es peculiar, pues para cumplir su deseo de ser en todo como los humanos lo que hace es morir, pero de este modo deja de ser parecido a un humano para convertirse simplemente en unos restos mecánicos inertes. Además, al elegir la muerte como un signo exclusivo de los humanos tal vez se está equivocando. Aunque es difícil poder afirmarlo con seguridad, es posible que algunos de los animales más inteligentes comprendan el concepto de la muerte y adopten actividades autodestructivas, llegando incluso a provocarse la muerte. Se han propuesto muchos ejemplos de ello, pero resulta difícil saber hasta qué punto el animal comprende el concepto de la muerte y actúa de modo consciente hacia su propia destrucción. Tal vez el ejemplo más fiable sea el que narra la etóloga Jane Goodall, pionera en el estudio de los chimpancés salvajes, cuando explica cómo el chimpancé Flint reaccionó ante la muerte de su madre Flo: «Para Flint, la muerte de Flo fue un golpe del que nunca se recuperó. Parecía como si sin su madre ya no tuviera voluntad de vivir. Se sentaba en la orilla del arroyo cerca del cuerpo de Flo, y de vez en cuando se le acercaba como si quisiera encontrar todavía una señal de vida. Pero el cuerpo de Flo permanecía inmóvil, frío y muerto, y finalmente Flint se alejó. Su depresión empeoró y dejó de comer hasta que cayó enfermo. A pesar de que intentamos ayudarle acompañándole y llevándole comida, Flint falleció unas tres semanas después de la muerte de Flo». Así que, si nos atenemos a esto, la autodestrucción es un acto que implica un grado elevado de autonomía del androide, pero esto no le hace más o menos humano. O al menos, no más humano de lo que quizás son algunos animales.

¿Tienen base científica los fenómenos de *Fringe*?

Las series de ciencia ficción se han adentrado desde sus inicios en el territorio de lo imposible que, quizás, pueda ser posible. Esta llamada a creer en lo increíble ha sido una constante del género en la televisión. Era esta la invitación que Rod Serling hacía en *La dimensión desconocida* cuando decía a la audiencia que estaba a punto de entrar en una «quinta dimensión que está más allá de lo que es conocido para el hombre», en el *opening* introductorio de cada entrega de esta antología seminal. También se encontraba en el famoso «la verdad está ahí fuera» de la popular *Expediente X,* sugiriendo aquí intereses ocultos. Y por supuesto, forma parte de la esencia de *Fringe,* una serie que invitaba al espectador a acompañar a un equipo dedicado a investigar todo tipo de fenómenos muy extraños; fenómenos que parecían imposibles, pero que se hacían realidad ante los ojos atónitos de los espectadores y de unos protagonistas que inicialmente mantuvieron posiciones distintas ante lo que se encontraban: Olivia era la escéptica del grupo, un rol que en *Expediente X* había ocupado la agente Scully, mientras que Walter Bishop era el científico apasionado por estos fenómenos, siendo el equivalente del agente Mulder. El espectador podía oscilar entre ambas posiciones para acabar absorbido por los misterios de la serie, que aparentemente tenían una base científica. En el caso de *Fringe,* este aspecto se refuerza al tener a un científico como uno de los protagonistas de la serie. A pesar de su carácter excéntrico, Walter Bishop sabía claramente de lo que hablaba y podía hallar una explicación a los fenómenos más sorprendentes.
El personaje es posiblemente uno de los científicos más conocidos y queridos de las series de televisión (solo superado en popularidad por Sheldon Cooper de la serie *The Big Bang Theory*). La serie supo mezclar muy bien su trama personal, basada en la relación con su hijo Peter, con el interés de *Fringe* por los temas científicos. ¿Pero es realmente ciencia lo que vemos en la serie? ¿Qué es exactamente la ciencia *fringe*?

La mayoría de nosotros, cuando utilizamos el término «ciencia» sin adjetivos añadidos, nos referimos a la ciencia que persigue el conocimiento de la naturaleza mediante la utilización sistemática del método originado en la revolución científica de los siglos XVI y XVII. Tal método se basa en la observación objetiva de un fenómeno, la formulación de hipótesis sobre él, el diseño y la realización de experimentos que permitan comprobar o rebatir las hipótesis, la medición de los datos obtenidos, la elaboración de teorías, el razonamiento para deducir conclusiones a partir de las observaciones, la exposición pública de los trabajos realizados y el sometimiento de estos a su análisis crítico por otros científicos. En los últimos siglos, la ciencia nos ha proporcionado grandes avances en multitud de campos que han mejorado nuestra calidad de vida y nuestro conocimiento del mundo que nos rodea. Sin embargo, un gran número de personas continúan creyendo en todo tipo de ideas sin ninguna base científica o que incluso han sido demostradas como falsas. Es lo que se conoce como pseudociencia. Entre sus ejemplos encontramos la astrología, la homeopatía, el creacionismo, las medicinas alternativas, la frenología, la numerología, la acupuntura, la dianética, la parapsicología, la numerología, etc. Un caso especial, al que ya nos hemos referido en el capítulo de *Juego de*

Tronos, es el de la alquimia, que a pesar de sus orígenes no científicos contribuyó al progreso de la química en los primeros pasos de la revolución científica, por lo que se considera una protociencia.

Entre la ciencia y la pseudociencia se halla la ciencia marginal (o ciencia *fringe,* por el término inglés). A diferencia de las pseudociencias, suele basarse en descubrimientos de la ciencia establecida, pero a partir de aquí especula sobre ellos para desarrollar ideas sin someterlas a ninguna comprobación. Tal mezcla de realidad y fantasía, junto con la libertad creativa que proporciona, constituye un entorno ideal para la creación de series de gran atractivo para la audiencia. Es el campo de trabajo de la ya mencionada *La dimensión desconocida,* que en su definición de la dimensión en la que nos introduce la serie también dice que «es el punto medio entre luz y oscuridad, entre ciencia y superstición, se halla en lo más profundo de los miedos del hombre y el cénit de sus conocimientos». También de *Fringe* y de otras series que tratamos en este Cuaderno. Sin embargo, en el mundo real, la ciencia marginal, y muy especialmente las pseudociencias, contribuyen a difundir ideas erróneas que pueden resultar sumamente peligrosas. Un ejemplo de ello es el movimiento antivacunas que se expande en todo el mundo provocando la reaparición de enfermedades como el sarampión, una enfermedad altamente contagiosa que hasta la introducción de la vacuna en 1963 provocaba más de dos millones de muertes anuales en todo el mundo. El creciente aumento de la oposición a la vacuna en las dos últimas décadas ha provocado la creciente aparición de brotes en distintas zonas, con el consiguiente aumento de las muertes debidas a una enfermedad que ya había sido controlada. Y el rechazo a las vacunas es solo un ejemplo de una creciente actitud de rechazo de la realidad, de antiintelectualismo, de creencia en todo tipo de falacias y de devoción hacia líderes populistas y negacionistas, todo ello potenciado por unos medios que favorecen la difusión de las mentiras. Lo que en series como *Fringe* es un motivo para crear historias alucinantes, en la vida real es un caldo de cultivo muy peligroso de ideas que no deberían poder propagarse con tanta facilidad.

¿Tienen base científica los fenómenos extraños de *Fringe*?

La gran mayoría de los fenómenos que ocurren en la serie están inspirados en otros del mundo real, lo cual no quiere decir que se ajusten a la realidad, pues casi todos incluyen elementos adicionales imaginarios para aumentar su espectacularidad. Tomaremos unos cuantos ejemplos de la primera temporada para ver de qué manera trabaja la serie con la ciencia y la mezcla con la imaginación de los guionistas. Por ejemplo, el episodio *The same old story* (segundo de la primera temporada), en el que un recién nacido envejece rápidamente y en cuestión de minutos adquiere el aspecto de un anciano y muere, está basado en la progeria, también conocida como síndrome de Hutchinson-Gilford, un trastorno genético progresivo extremadamente raro que acelera el envejecimiento de los niños. La diferencia con lo que sucede en el episodio es que en el mundo real estos niños, cuando nacen, no muestran ningún síntoma, y es a lo largo del primer año cuando aparecen los primeros signos, en especial la caída del cabello. La esperanza de vida es de unos 13 años, aunque algunos mueren más jóvenes y otros pueden alcanzar hasta los 20 años.

Otro episodio que nos sirve como ejemplo de la base científica de la serie es *Safe* (el décimo de la primera temporada), en el que unos ladrones utilizan una máquina que les permite atravesar la pared de un banco y robar una caja de seguridad. En el mundo real, un grueso muro nos parece macizo, imposible de traspasar. Sin embargo, no solo no es así, sino que el muro, como todo lo que nos rodea, o como nosotros mismos, es prácticamente vacío. Todo cuanto nos rodea está formado por átomos, y estos constan de un núcleo central y unos electrones que

giran alrededor de él. Si pudiéramos ampliar el átomo al tamaño de un gran estadio de fútbol, el núcleo sería tan solo como un grano de arroz situado en el centro del campo y el resto sería espacio vacío, excepto unas pocas motas de polvo revoloteando por ahí (los electrones). En esta comparación, aquel muro que imaginábamos compacto no es más que espacio sin nada, y es que en realidad el mundo está prácticamente vacío. ¿Por qué entonces no nos es posible atravesar las paredes, como en los libros de Harry Potter, en los que este y sus amigos alcanzan la plataforma 9¾ de la estación atravesando un muro de ladrillo entre las plataformas 9 y 10? Sencillamente, porque las partículas están fijadas por campos de fuerza que las mantienen en su posición e impiden que otras ocupen el mismo espacio, y para romper esta estructura es necesario ejercer una fuerza muy grande. Sin embargo, hay un tipo de partículas, los neutrinos, que solo se ven afectados por la llamada interacción débil, que tiene un radio de acción sumamente pequeño, por lo que pueden atravesar enormes extensiones de materia sin dificultades. Las reacciones nucleares que tienen lugar en las estrellas generan gran cantidad de neutrinos que salen disparados en todas direcciones. Se calcula que, en un segundo, cada centímetro cuadrado de superficie terrestre es atravesado por unos 65.000 millones de neutrinos procedentes del Sol, y por tanto en este mismo tiempo cientos de miles de millones de ellos pasan a través de cada uno de nosotros.

También en la primera temporada, en *Ability* (el decimocuarto episodio) aparece la teleportación, que puede ser únicamente en el espacio, como en este episodio, o también en el tiempo. En el caso de *Fringe,* el dispositivo creado por Walter permitía la teleportación de una persona, aunque con algunos efectos secundarios variables, como ceguera transitoria, quemaduras o síndrome de descompresión. La teleportación es un clásico de las historias de ciencia ficción, y de hecho, en el mundo de las series de televisión está muy asociado a *Star Trek.* Seguro que les ha venido a la cabeza el famoso *«Scotty, beam me up».* En esta serie, que ha expandido su narración también en el cine, se muestra un posible esquema del proceso necesario, que constaría de tres pasos: 1) desmaterializar la persona u objeto que se desea transportar, es decir, convertirlo en un patrón de energía o información; 2) emitir este patrón hacia su destino; y 3) rematerializarlo a su estado inicial. Pero desmaterializar y rematerializar un cuerpo humano no solo es imposible en estos momentos, sino que parece algo inalcanzable. Por una parte, la cantidad de información contenida en un cuerpo humano es del orden de $2{,}6 \times 10^{42}$ bits (según un estudio realizado en la Universidad de Leicester). Tampoco parece posible reconstruir el cuerpo a partir de tal información, teniendo en cuenta que debería ser realizado de modo casi instantáneo, pues las distintas partes, y especialmente el cerebro, fallarían en caso de no estar completas en todo momento. Y cabría plantearnos también una cuestión ético-filosófica: dado que una vez que hemos reducido una persona a información nada nos impide rematerializarla tantas veces como queramos, ¿sería lícito? Y entre las distintas copias, ¿habría alguna que fuese la original o todas lo serían? Hasta el momento, lo más cercano a la teleportación que hemos logrado utiliza el entrelazamiento cuántico, según el cual las propiedades de una partícula afectan a las propiedades de otra aunque las partículas estén separadas una de otra por una gran distancia. En esta situación, si una tercera partícula modifica el estado de una de ellas, tal estado se manifestará al mismo momento en la partícula lejana, por lo que habremos transmitido información de la una a la otra.

¿Existen los universos paralelos de *Fringe*?

A medida que *Fringe* se desarrolla, los fenómenos sorprendentes de la primera temporada dejan paso a otras propuestas mucho más complejas. Se revela que el origen de muchos de los fenómenos que investigan los protagonistas se producen a causa de la existencia de un universo paralelo. Esta idea se

convierte en el eje de la serie, proponiendo primero el viaje hacia el universo paralelo para descubrir las versiones distintas de los personajes que ya conocemos (poniendo a prueba el talento de los actores), para luego complicarlo con otras variaciones, reflejándose con diferentes colores en el *opening*. Sin embargo, ¿existen estos universos paralelos tal como aparecen en *Fringe*? Desde la Revolución Científica hasta las primeras décadas del siglo XX se consideraba que la física debía producir siempre resultados concretos. Esto cambió con el advenimiento de la mecánica cuántica, según la cual un sistema físico puede encontrarse en una multitud de estados distintos que colapsan a uno determinado cuando es observado o medido. Esto se conoce como la interpretación de Copenhague, y parecía tan contrario a la lógica que algunos físicos, entre ellos Albert Einstein, se opusieron a esta idea y creían que futuras investigaciones la refutarían.

También opinaba así el físico Erwin Schrödinger, quien para mostrar la ridiculez de aquella idea propuso en 1935 un experimento mental que desde entonces se conoce como «el gato de Schrödinger». Consiste en imaginar una cámara herméticamente cerrada en la que se colocan un gato, un frasco de veneno mortal, un átomo de una sustancia radiactiva que tiene una probabilidad de un 50% de desintegrarse en una hora, un mecanismo con un martillo y un contador Geiger dispuesto de modo que si detecta la radiación romperá el frasco de veneno y provocará la muerte del gato. Si la interpretación de Copenhague es correcta, mientras no abramos la caja el átomo se halla en un estado indefinido que incluye a la vez los sucesos «desintegrado» y «no desintegrado», por lo que el gato debe estar simultáneamente muerto y vivo. Tan solo cuando abramos la caja, el átomo –y por tanto también el gato– adoptarán un estado concreto. En el año 1957, el físico Hugh Everett, para ofrecer una posible explicación a cuestiones como la del gato de Schrödinger, propuso la idea de los mundos múltiples, según la cual siempre que hay un suceso que puede terminar de dos maneras distintas, el universo entero se desdobla en otros dos que a partir de ese momento seguirán caminos distintos. Es decir, en el caso del experimento anterior, en uno de los universos el gato está vivo y en el otro está muerto. Intentemos imaginar lo que ello significaría si fuera cierta tal idea. Según las estimaciones más recientes, el Big Bang sucedió hace unos 13.800 millones de años y la unidad de tiempo más pequeña posible según la física actual, el denominado tiempo de Planck, es $5{,}39 \times 10^{-44}$ segundos. Es decir, la edad de nuestro universo es del orden de 8×10^{60} tiempos de Planck. En cada uno de estos instantes elementales se produce un número inconmensurable de sucesos, cada uno de los cuales provocaría la división del universo en otros dos, que a su vez continuarían dividiéndose indefinidamente.

En las obras de ficción, en especial del género de ciencia ficción, como *Fringe,* hay frecuentes referencias a los universos paralelos y las dimensiones alternativas, por lo que es importante explicar bien sus diferencias. En esencia, un universo es un sistema completo por sí mismo, mientras que una dimensión es una parte de un universo. Aunque solo tenemos constancia del nuestro, diversas hipótesis suponen la existencia de otro u otros a los que denominamos universos paralelos o, sobre todo en obras de ficción, universos alternativos. Las leyes físicas que los rigen pueden ser parecidas a las nuestras o completamente diferentes. Por lo que respecta a las dimensiones alternativas, como ya hemos visto en el capítulo dedicado a *Stranger Things,* aunque intuitivamente consideramos que en nuestro mundo existen tres dimensiones más la del tiempo, diversas teorías proponen la existencia de un número muy superior, que por alguna razón no percibimos. Estas otras dimensiones pueden ser usadas por infinitos otros mundos. No tenemos manera de saber si la idea de los universos múltiples es cierta, y probablemente no lo sepamos nunca, así que en este caso no

podemos responder la pregunta planteada.

¿Sería posible encontrarnos con nuestro doble de otro universo?

Uno de los momentos más emblemáticos de *Fringe* es cuando Walter cruza al otro universo con el objetivo de encontrar una cura para su hijo Peter. Al final, acaba secuestrando al otro Peter, su hijo del universo alternativo, y llevándoselo al universo del que procede.
El personaje mantendrá en secreto esta decisión, incluso a Peter, lo que le generará graves remordimientos, tal como se explica en uno de los episodios más redondos de la serie, *White Tulip* (el decimoctavo de la segunda temporada), en el que pide a Dios que le mande una señal que le indique que le ha perdonado por lo que hizo, lo cual tuvo consecuencias que van mucho más allá de su propia historia. No podemos probar la existencia de otros universos, pero sí podemos preguntarnos si en caso de existir tales universos sería posible desplazarse entre ellos como hacen los personajes de *Fringe*. Pero esta es una pregunta que por el momento no tiene una respuesta concreta. El físico teórico Brian Greene argumenta que la posibilidad de viajes entre universos depende de cuál sea el tipo de multiverso que imaginemos. Si suponemos diferentes universos que hayan surgido todos ellos de un Big Bang múltiple, entonces viajar a otro de ellos implicaría retroceder en el tiempo hasta el Big Bang. Si, en cambio, aceptamos que la idea de los universos paralelos es cierta, según Greene no es necesario el desplazamiento, pues de todos modos otra versión de nuestro yo (que ha vivido distintas experiencias) ya se encuentra en muchos de ellos. Este sería el caso de *Fringe,* donde existen varias versiones de los personajes en los distintos universos, aunque los personajes viajan igualmente entre universos, encontrándose con las versiones de sí mismos, algo que la serie utiliza para generar conflictos y jugar con los distintos reflejos de los personajes, que reciben nombres distintos (Walter y Walternate, Olivia y Fauxlivia, etc.), y que pueden ocupar el lugar de sus otras versiones, engañando a los demás.

Podemos visualizar la evolución de los universos múltiples como una línea de ferrocarril que parte de una estación central y cada cierto tiempo se divide en otras dos que a su vez van subdividiéndose en otras dos, y así sucesivamente. En cada subdivisión se producen pequeñas alteraciones que de manera progresiva pueden devenir en transformaciones importantes. De este modo, en la serie vemos las diferencias entre los dos universos en numerosos aspectos, como la tecnología, los medios de transporte, el entorno, las enfermedades, la sociedad, los sucesos, etc. Si un viajero quiere trasladarse de un punto de la red a otro distinto, deberá retroceder hasta el último punto común a ambos destinos y reemprender el camino desde allí. De modo similar, cada vez que uno de los personajes de la serie quiere trasladarse al mundo alternativo debe retroceder en el tiempo hasta el momento en que los dos mundos se separaron, y a partir de allí en cada bifurcación intentar adivinar el camino adecuado que le lleve a su destino, un universo alternativo. Sin embargo, allí no encontrará ningún doble alternativo, pues según nuestro símil lo único que hemos hecho es retroceder el tren hasta una bifurcación anterior y desviarlo a otra vía. La única manera de poder confrontar a una persona con su doble en otro universo sería que

pudiera viajar directamente de uno a otro universo, cosa que hoy por hoy parece imposible.

En varias series se plantea el tema del desplazamiento entre universos o entre dimensiones de un mismo universo. En el caso de *Fringe,* el descubrimiento del universo alternativo se logra mediante una «ventana que genera una curvatura en la estructura de la realidad», un dispositivo que más tarde se amplía para permitir el paso entre uno y otro universo, cosa que ocasiona daños en ambos. Este sistema no parece viable como puente entre universos, pues un universo es un sistema cerrado con una estructura física específica que puede ser muy distinta de cualquier otra. Pensemos que incluso las más pequeñas variaciones en tan solo una de las constantes de nuestro universo lo harían completamente inhabitable. En cambio, sí es posible un mecanismo similar para conectar dos puntos distantes de un mismo universo como el nuestro. Se trata de los llamados «agujeros de gusano», una denominación acuñada por John Archibald Wheeler en 1957, según la cual nuestro universo semeja la piel de una manzana, curvada como el espacio-tiempo. Para trasladarnos de un punto a otro debemos hacerlo sobre su superficie, pero un gusano puede hacer un agujero y alcanzar cualquier otro punto por un camino más corto. De manera similar, en el universo real un agujero de gusano es un túnel entre dos puntos del espacio-tiempo. Aunque la posibilidad de su existencia surge de las ecuaciones de campo de la teoría de la relatividad general, su existencia real no ha sido probada ni tampoco la posibilidad de crearlos. Además, se prevé que serían muy pequeños y altamente inestables, por lo que no permitirían el paso de personas.

En la ficción suele darse el nombre de «portal» a cualquier dispositivo que permite el paso entre dos universos o entre dimensiones distintas del mismo universo, independientemente de la tecnología empleada para ello. Acabemos el capítulo con algunos ejemplos de distintos tipos:

- Entre universos paralelos. En la serie *Counterpart* se parte de la idea de que en 1986, en plena Guerra Fría entre los Estados Unidos y Rusia, un accidente en un experimento provocó la división del universo en otros dos, inicialmente iguales, que a partir de ahí se fueron diferenciando. Tal división equivaldría a una de las casi infinitas que continuamente se producen en los universos paralelos. La diferencia en este caso es que sus habitantes pueden pasar de uno a otro a través de un portal denominado «El cruce».
- Entre dimensiones alternativas. En la serie *Stranger Things* comunican el mundo real con el mundo del revés, situados en distintas dimensiones de un mismo universo. Uno de los portales es obra de los científicos de un laboratorio, mientras que los otros son creados por los poderes mentales del monstruo Demogorgon y de Eleven.
- Solo viaje en el tiempo. En cambio, en la serie *Dark* aparecen distintos portales que permiten viajar en el tiempo, hacia adelante o hacia atrás, pero solo en determinado número de años (por tanto, aquí no hay múltiples universos ni dimensiones alternativas). La tecnología corresponde a la de los agujeros de gusano, con referencias al bosón de Higgs, la materia oscura y el electromagnetismo.

¿Podría existir una isla como la de *Lost*?

El vuelo 815 de Oceanic Airlines desapareció en algún punto indeterminado del Océano Pacífico el 22 de septiembre de 2004. Ese mismo día, millones de espectadores se quedaban pegados a uno de los misterios más adictivos de la televisión reciente, un fenómeno de alcance global llamado *Lost*. Si los supervivientes del vuelo habían quedado perdidos, la audiencia se quedó perdida con ellos. ¿Cuál fue el momento en que la serie atrapó a los espectadores? ¿Fue cuando se abrió el ojo de Jack? ¿Fue durante la espectacular escena de rescate de los supervivientes, con el zumbido de las hélices del avión girando en la arena de la playa? Probablemente fue cuando el público se dio cuenta de que aquella no era una isla normal y de que lo que parecía una aventura de supervivientes en realidad era algo mucho más complejo, misterioso y lleno de interrogantes. Hay pocas series que sean tan rotundamente científicas como *Lost,* en el sentido de que es una serie que cautiva al público haciéndose preguntas y buscando respuestas. La serie mezcló de forma sabia elementos científicos con otros filosóficos, incógnitas terrenales sobre los supervivientes con otras fantásticas sobre los extraños fenómenos con los que estos se encuentran. Uniendo todas estas partes de un todo estaba el espacio de la isla, que fue concebido como un personaje: intervenía a través de susurros en la jungla, visiones e incluso las acciones de un «monstruo» cuya naturaleza fue uno de los principales misterios de la serie. En este capítulo vamos a destripar algunos de esos misterios, pero siempre con el objetivo de examinar qué había de científico en la serie, empezando por esta isla que actuaba, narrativamente, como una jungla en la que cuanto más se adentraban los personajes, cuanto más cerca estaban del corazón de las tinieblas, más difícil era salir. Porque en *Lost,* tras una pregunta se sucedía otra, y en casa, los espectadores iban construyendo teorías que intentaban hacer encajar todas las informaciones que la serie iba dando en sus episodios y también en material extratelevisivo (páginas web, experiencias *online,* etc.) que alimentaba todavía más la fiebre por la serie.

Pero todo empieza en la isla y en la certeza, que poco a poco fue siendo evidente para todos los supervivientes, de que nadie iría a rescatarlos. ¿Cómo es posible que un equipo de rescate no encontrara la isla? El motivo era la naturaleza misma de la isla, que será el primero de los misterios que vamos a desgranar desde la ciencia.

¿Podría existir una isla como la de *Lost*?

Uno de los motivos por los que no era posible que se encontrara fácilmente a los supervivientes (a partir de ahora vienen *spoilers*) es porque el lugar donde estaban podía cambiar de ubicación. Es una de las propiedades más sorprendentes de la isla: toda ella puede ser trasladada a otro lugar de forma instantánea. Para ello debe girarse una gran rueda congelada de ocho radios que se encuentra en una cámara secreta bajo la estación Orquídea. La rueda tiene la misma estructura que el Dharma Chakra, un símbolo usado en diversas religiones indias, como el hinduismo y el budismo. Sus ocho radios representan el noble camino óctuple del budismo (el código ético de conducta y pensamiento) y sintetizan las enseñanzas de Buda, pues se dice que este hacía girar una rueda mientras predicaba. En un episodio clave de la serie se ve cómo Benjamin Linus hace girar la rueda congelada y provoca que los pasajeros del helicóptero que se

acercaba a la isla observen con gran sorpresa que esta, junto con otra cercana más pequeña, desaparecen en una explosión de sonido y luz, dejando un vacío que el océano llena de inmediato. Sin embargo, los esfuerzos de Ben para girar la rueda hicieron que esta se saliera de su eje, cosa que hizo que los supervivientes fueran transportados a distintos momentos de la historia de la isla, con las consiguientes repercusiones.

Para preguntarnos si sería posible trasladar instantáneamente toda la isla y sus ocupantes a otro lugar, trataremos la cuestión en dos partes: en este apartado nos centraremos en el desplazamiento de la isla en el espacio, y en el siguiente, del transporte en el tiempo. En ambos casos dejaremos para el final del capítulo la posible utilización del electromagnetismo para tales acciones.

La instantaneidad del desplazamiento de la isla en el espacio nos lleva a pensar en los agujeros de gusano que habíamos mencionado en el capítulo dedicado a la serie *Fringe,* y que podemos visualizar como un atajo para conectar dos lugares del universo distantes entre sí en el espacio-tiempo. Ya entonces advertíamos que, aunque las ecuaciones de campo de la teoría de la relatividad general permiten la existencia de tales agujeros, esta no ha sido nunca demostrada. Además, las fórmulas predicen que, en caso de existir, serían pequeños y altamente inestables, por lo que no podríamos utilizarlos para mover una masa tan grande como una isla. Una dificultad añadida es que tales agujeros de gusano deben ser transitables. Es decir, deben permitir el paso de personas sin que estas sufran daños. Así pues, deberemos abrir nuestra mente a teorías más imaginativas y meramente especulativas.

En esencia, un agujero de gusano consta de dos bocas, una de entrada y otra de salida, unidas por un canal. Diversos estudios muestran que para conseguir un agujero de gusano transitable sería necesario disponer de grandes cantidades de algo denominado «materia exótica», una materia con masa negativa, por lo que actuaría como un mecanismo estabilizador antigravitatorio que permitiría mantener abiertas las bocas del agujero de gusano (en los vídeos de la Iniciativa Dharma que aparecen en la serie, el doctor Chang explica que la isla contiene una bolsa de materia exótica). En realidad, la materia exótica es el nombre genérico dado a diversos tipos de materia con propiedades singulares, algunos meramente hipotéticos y otros poco comprendidos, como la materia oscura.

Otra posibilidad que se ha planteado para estabilizar un agujero de gusano se basa en el denominado efecto Casimir. Básicamente, el efecto Casimir consiste en que cuando dos objetos metálicos están separados por una distancia muy pequeña, entre ellos aparece una fuerza atractiva debida a las fluctuaciones del vacío cuántico. Podemos comprenderlo imaginando una caja metálica cuyas paredes están sumamente cercanas entre sí, y dentro de la cual se ha hecho el vacío. Según la física clásica, si en la caja no hay ningún campo tampoco habrá ninguna energía. Sin embargo, la física cuántica predice que, aunque no haya ningún campo en la caja, el vacío interior contendrá vibraciones de pequeñísima energía. Dada la reducida distancia entre las paredes, el número de distintas vibraciones será inferior al de las del exterior. Tal diferencia produce una pequeña fuerza del exterior hacia el interior (en algunos materiales la fuerza puede ser en sentido contrario). Sin embargo, tales fuerzas cuánticas no podrían permitir un agujero de gusano de tamaño suficiente para permitir el paso de una persona, y mucho menos de una isla.

¿Podríamos hacer viajes en el tiempo como en *Lost*?

Existen muchísimas series en las que los protagonistas viajan en el tiempo. Ya hemos mencionado, en el capítulo anterior, los viajes de Dark. Pero seguramente ninguna serie ha manejado los viajes en el tiempo con tanta efectividad narrativa como *Lost*. La serie convirtió el salto en el tiempo en una de sus características más llamativas desde el primer episodio, utilizándolo como un

recurso habitual en el guion. Cuando los personajes todavía no viajaban en el tiempo, el espectador sí lo hacía, con los *flashbacks* que aparecían en todos los episodios. Esta fórmula permitía a la serie revelar información sobre cada uno de los protagonistas, logrando que esta nueva información contribuyera tanto a la construcción del personaje en cuestión como a los misterios de la serie. Cada nuevo *flashback* era una oportunidad para sorprender al espectador con nueva información. Más adelante, *Lost* cogió por sorpresa a la audiencia incorporando regularmente los *flash forward,* en los que veíamos a los personajes en el futuro. Y en su última temporada, volvió a romper la cabeza de la audiencia con los *flash sideways,* en los que se podía ver a los personajes (esto no se reveló hasta el final de la serie) encontrándose tras su muerte, en una línea temporal que no podemos determinar cuándo ni dónde tiene lugar. A estas alturas, ya había quedado claro que el tiempo era un elemento clave para los guionistas en su manejo de las expectativas. Es esta utilidad la que les lleva a introducir los saltos en el tiempo también dentro de la ficción para los personajes.

La primera vez que esto ocurre es en la segunda temporada, en el momento en que Ben Linus decide «mover la isla». Ya hemos estudiado este movimiento en el espacio, así que ahora vamos a hacerlo en el tiempo. Para hacerlo, debemos empezar por definir un concepto básico: ¿qué es el tiempo? Hasta el advenimiento de Albert Einstein creíamos que el universo ocupaba un espacio estático tridimensional y que los cambios que en él tenían lugar se producían en momentos concretos de un tiempo que parecía transcurrir de modo continuo y regular (en realidad esta sigue siendo nuestra intuición). Según esta idea, si distintos observadores miden la distancia entre dos puntos determinados o el tiempo transcurrido entre dos sucesos concretos todos obtendrán los mismos resultados, independientemente del lugar desde donde efectúen las mediciones o de su estado de movimiento o reposo. Todo ello cambió con la publicación de la teoría de la relatividad especial en 1905 y la de la relatividad general diez años más tarde. Según estas, cuando un espectador observa un objeto lo ve definido por tres coordenadas espaciales (x, y, z) y una coordenada temporal (t), pero otros observadores situados en distintos sistemas de referencia lo verán en distintas coordenadas. De este modo, dos sucesos A y B que a un observador le parecen simultáneos pueden no serlo para otro, o incluso a uno de ellos le puede parecer que A sucede antes que B, mientras que para otro observador B es anterior a A. Los aspectos principales de la teoría de la relatividad que nos interesa tener en cuenta son los siguientes:

- Relatividad especial. Ya en 1864 James Clerk Maxwell había propuesto unas ecuaciones según las cuales la velocidad de la luz debía tener siempre el mismo valor, independientemente de la velocidad del experimentador que la mida, cosa que contradecía la mecánica clásica newtoniana. Einstein desarrolló esta idea y llegó a la conclusión de que cuando un objeto se mueve respecto a un espectador estacionario, el tiempo se dilata, el espacio se contrae y la masa del objeto aumenta. A las velocidades a las que nos movemos habitualmente estos efectos son casi inapreciables, y por eso no somos conscientes de ello. Otro aspecto interesante de la relatividad es que las partículas sin masa (los fotones y los gluones) no experimentan el tiempo.
- Relatividad general. Tras la publicación de la teoría de la relatividad especial, Einstein se interesó por el hecho de que la aceleración y la gravedad producen unos efectos similares. Por ejemplo, cuando estamos sentados en un avión a punto de emprender el vuelo sentimos el peso de nuestro cuerpo en el asiento debido a la gravedad, y cuando la aeronave acelera por la pista para alcanzar la velocidad de despegue sentimos una fuerza similar que presiona nuestra espalda contra el respaldo. A partir de esta idea, tras 10 años de

trabajos llegó a la conclusión de que el universo no es uniforme, sino que se deforma en las proximidades de la materia, produciendo así la atracción gravitatoria y el retraso en los relojes (el tiempo transcurre más lentamente).

Aunque la relatividad es contraria a nuestra intuición, sus efectos han sido comprobados: rayos de luz procedentes de estrellas lejanas que se curvan al pasar cerca de otros astros, alteraciones de color debido a que la luz vibra a menor frecuencia cerca de un campo gravitacional, cambios en la órbita de Mercurio, etc. Como ya hemos dicho, normalmente no percibimos ninguno de los efectos de la relatividad, pero algunos dispositivos que usamos frecuentemente sí necesitan para su funcionamiento efectuar las correcciones relativistas. Por ejemplo, los navegadores GPS y los teléfonos inteligentes, que obtienen nuestra localización actual mediante la utilización de los datos que reciben desde una red de satélites que rodean la Tierra. Para que funcionen es necesaria una gran exactitud en la medición del tiempo, y por ello los equipos de los satélites deben tener en cuenta dos tipos de efectos:

- Debido a la velocidad a la que circulan, sus relojes se retrasan unos 7 μs/día.
- A causa de la menor gravedad a la altura de su órbita, avanzan unos 45 μs/día.

Por tanto, para que los relojes de los satélites coincidan con los de la superficie terrestre se ajustan con un retraso constante de 45 – 7 = 38 μs al día (más pequeñas correcciones ocasionales).

Para intentar comprender las peculiares propiedades del espacio y el tiempo según la teoría de la relatividad deberíamos visualizar un espacio con cuatro dimensiones (las tres del espacio más una del tiempo), cosa que resulta difícil para la mayoría de nosotros. Con el fin de solucionar en parte este problema, el matemático alemán Hermann Minkowski creó en 1908 los diagramas que llevan su nombre, en los que se eliminan una o dos coordenadas de espacio manteniendo la de tiempo en el eje vertical. En el segundo caso, el espacio está representado mediante un conjunto infinito de planos horizontales (con coordenadas x,y), de los que cada uno representa su estado en un instante dado, el cual vendrá dado por su altura (la coordenada vertical ct que representa la distancia que recorre la luz en un tiempo t). Si el nombre de Minkowski os es familiar, quizás también sea porque los guionistas de *Lost,* que aquí demuestran nuevamente que conocen bien la ciencia que hay detrás de la historia que están explicando, pusieron el nombre de Minkowski a un personaje, un oficial de comunicaciones del barco que llega a la isla siguiendo las órdenes de Charles Widmore y que tendrá un papel clave en el viaje en el tiempo que Desmond realiza con la mente en el episodio *The Constant* (que trataremos más adelante).

Puesto que según la relatividad la velocidad de la luz es constante (299.792.458 m/s) y nada puede superarla, el diagrama de Minkowski nos permite ver qué parte del espacio-tiempo puede resultar afectada por un suceso que se produzca en el punto de coordenadas 0, 0, 0. Por ejemplo, una partícula que parta de este origen, al cabo de un segundo habrá ascendido al plano de coordenada $ct = 1 \times 299.792.458$, y como máximo puede haberse desplazado horizontalmente un máximo de 299.792.458 metros, por lo que se encontrará dentro de un círculo con tal radio. Si repetimos el proceso indefinidamente veremos que el conjunto de puntos a los que puede llegar la partícula inicial forma un cono invertido. El interior de este cono es, por tanto, la parte del espacio-tiempo a la que puede tener acceso la partícula, mientras que el exterior del cono le es completamente inaccesible (nada que haga la partícula puede tener ningún efecto en el exterior). Del mismo modo, si repetimos el proceso en sentido contrario, es decir, retrocediendo en el tiempo, obtendremos un cono simétrico al anterior que incluye todos los sucesos del pasado que pueden afectar a la partícula en su origen (0, 0, 0).

Por último, cabe destacar que cada observador tiene sus propios conos de luz (futuro y pasado) que dependen de su ubicación, su velocidad y la curvatura del espacio-tiempo en esa zona (que a su vez depende de la gravedad). Ello hace que si dos personas situadas en distintos puntos del espacio-tiempo miden el tiempo transcurrido entre dos sucesos pueden obtener valores diferentes, e incluso una y otra pueden verlos en distinto orden.

¿Es posible viajar en el tiempo? En la serie, la isla y sus personajes realizan viajes en el tiempo hacia el futuro y hacia el pasado, así que responderemos esta pregunta separando la respuesta en estos dos tipos de viaje. Empecemos por el caso relativamente más sencillo: el viaje al futuro.

Para explicarlo suele utilizarse lo que se denomina «paradoja de los gemelos». Supongamos que hay dos gemelos idénticos jóvenes y que uno de ellos permanece en la Tierra mientras el otro emprende un viaje al espacio en una nave que alcanza una velocidad cercana a la de la luz. Según la relatividad, cuanto mayor es la velocidad más lentamente transcurre el tiempo, por lo que puede suceder, por ejemplo, que cuando el gemelo viajero regrese a la Tierra los relojes de la nave indiquen que han transcurrido solo 5 años y él se sienta todavía joven, mientras que en la Tierra hayan pasado 50 años y su gemelo sea ya un anciano. A todos los efectos, el primero habrá viajado al futuro. Una duda que puede plantearse es la siguiente: si el movimiento de los objetos en el espacio es relativo (ya que no hay puntos de referencia fijos), podemos decir tanto que la nave se mueve respecto a la Tierra como que esta se mueve respecto a la nave. Entonces, ¿por qué es el gemelo viajero el que se mantiene joven? La respuesta es que como referencia debe tomarse siempre un objeto en movimiento inercial, es decir, que no sufra ninguna aceleración ni atracción gravitatoria (recordemos que aceleración y gravedad son equivalentes según la relatividad general). En rigor, en este ejemplo ninguno cumple esta condición, pues el que se queda en tierra está sometido a la gravedad terrestre, pero esta es muy inferior a la aceleración necesaria para que la nave alcance velocidades cercanas a la de la luz, por lo que el pequeño error que ello provoca puede ser despreciado (o si queremos ser más rigurosos, podemos colocar al gemelo terrestre en una nave espacial en vuelo inercial). Por tanto, el viaje al futuro es posible sin más límite que el de nuestra capacidad tecnológica.

Otra cosa muy distinta es el viaje al pasado, para el que no nos basta la relatividad especial, sino que necesitamos recurrir a la relatividad general, en la que la materia y la energía curvan el espacio-tiempo y provocan cambios en su estructura. Se han desarrollado distintas soluciones matemáticas, algunas de las cuales abren posibilidades de zonas que se curvan sobre sí mismas, como los antes citados agujeros de gusano, lo que podría permitir en algún caso el viaje al pasado, pero por el momento nada de esto parece posible. El físico Stephen Hawking lo resumió diciendo que las leyes de la física no permiten la aparición de curvas temporales cerradas (que se cierran sobre sí mismas). Puede alegarse que, a menudo, en cuestiones científicas, lo que antaño nos parecía imposible con el paso del tiempo deviene real. Sin embargo, no parece que este sea el caso del posible viaje al pasado, ya que se opone a él el principio de la causalidad, es decir, la relación entre causas y efectos según la cual estos no pueden preceder a aquellas. Este es un principio que hasta el momento siempre se ha cumplido, y que en terminología de la relatividad especial y general podemos expresar diciendo que un efecto no puede ser el resultado de una causa que no esté en el cono de luz del pasado del efecto. O dicho de otra manera, una causa solo puede generar un efecto dentro de su propio cono de luz futuro. Aquí debemos citar un experimento realizado en 1978 por el físico estadounidense John Archibald Wheeler, que parecía desmentir la causalidad. En él, un fotón es enviado a través de un circuito de espejos semitransparentes en el que se puede hacer que el fotón siga un

camino entre dos posibles. En cierta configuración del experimento parece como si el fotón utilizara el camino que fue elegido después de llegar a su destino. Sin embargo, parece más probable que ello se deba a que la interpretación del resultado (la realidad del camino seguido) se hace a partir de una información que solo está disponible en el futuro.

En resumen, no parece posible que algún día se pueda viajar hacia atrás en el tiempo, tal como hacen varios personajes de *Lost* que se trasladan a 1977 en la quinta temporada.

¿Tiene sentido el viaje de Desmond según la ciencia?

Se oye el sonido de una llamada y el espectador se queda en vilo. «¿Hola?», responde una voz. «¿Penny?», pregunta Desmond. «¿Desmond?», responde la voz. Esta escena es una de las más emotivas que jamás se han visto en televisión. El espectador puede sentir la emoción de los dos personajes y en ella ve reflejada todo lo que sabe de su historia, todo lo que han vivido hasta que han llegado hasta ese punto. Pero no es solo uno de los momentos más emotivos de *Lost,* también es la culminación de uno de los episodios más brillantes de la serie, y uno de los que plantea más interrogantes científicos. Se titula *The Constant* (es el quinto episodio de la cuarta temporada) y en él Desmond experimenta flashes durante los cuales su mente se traslada al año 1996 (él estaba en 2004). En uno de estos flashes encuentra al Daniel Faraday del pasado, que trabajaba como investigador en una universidad. El Daniel de 1996 muestra a Desmond un tablero con un laberinto que quiere utilizar en un experimento con el que pretende enseñar a una rata a encontrar la salida. Entonces el Daniel Faraday de 2004 da a Desmond los códigos (2342 y 11 Hz) que son las claves del experimento, y con ellos la rata encuentra rápidamente la salida, porque su mente se ha trasladado al futuro en el que ya conoce el camino de salida. De este modo, Desmond convence a Faraday de que ha viajado mentalmente desde el futuro, y Daniel le advierte de que, si lo hace repetidamente, el continuado esfuerzo mental que ello representa puede causarle un aneurisma cerebral y tal vez la muerte (como sucedió a la rata). Para evitarlo, debería encontrar una constante, es decir, algo que esté presente tanto en el origen como en el destino de sus viajes, y que a la vez resulte suficientemente significativo para Desmond.

Este tipo de viajes mentales en el tiempo no son frecuentes en la ficción, que suele recurrir a viajes físicos mediante máquinas del tiempo, naves espaciales, agujeros de gusano u otros artilugios. En el contexto de *Lost,* podríamos pensar que la intensa radiación electromagnética existente en la isla afecta a ciertas zonas del cerebro de algunos de sus ocupantes, de modo que ciertos recuerdos del pasado se les aparecen como si en realidad los estuvieran viviendo. Del mismo modo podemos suponer que ello provoca un conflicto interno entre la realidad física y la vivencia mental que puede llegar a desembocar en algún daño cerebral, como puede ser la rotura de un aneurisma intracraneal y la consiguiente hemorragia subaracnoidea, e incluso la muerte.

Ahora bien, ¿son posibles viajes mentales como los de Desmond en el mundo real? En cierto modo, viajar en el tiempo es algo que nuestra mente hace de forma natural. Se trata de una habilidad denominada cronestesia, término acuñado por el psicólogo y neurocientífico Endel Tulving en 1985, y que se refiere a nuestra capacidad de viajar mentalmente en el tiempo, ya sea para recordar eventos personales pasados (la llamada memoria episódica) o para imaginar posibles futuros (memoria prospectiva), lo que es fundamental para definir nuestra propia identidad y para la toma de decisiones. (Nota: el término cronestesia se utiliza también en medicina para referirse a los cambios rítmicos de sensibilidad a un medicamento por parte de un organismo.) Revivir el pasado o imaginar el futuro puede llegar a producirnos experiencias sensoriales muy intensas, como la de la magdalena que Marcel Proust describe en su libro *En busca del tiempo perdido.* Sin embargo, por muy intensa que sea la vivencia

siempre somos conscientes de que, tanto si recordamos el pasado como si imaginamos el futuro, en realidad no estamos viviendo esos sucesos y en ningún caso nos es posible alterar la realidad que fue ni la que será. Es más, nuestra memoria del pasado es parcial y se va deformando con el tiempo, y el futuro que imaginamos puede no tener ningún parecido con lo que más tarde suceda. Por tanto, los viajes mentales tal como se presentan en la serie no son posibles.

¿Son realistas las propiedades electromagnéticas de la isla?

Nos queda por ver la posible utilización de la intensa energía electromagnética existente en la isla para conseguir desplazarla, con sus ocupantes, en el espacio y el tiempo, como cuando Ben Linus hace girar la rueda. Y es que en el corazón de la isla de *Lost* se encuentra una potente fuente de electromagnetismo que causa importantes efectos en la isla y sus habitantes. Entre los efectos conocidos que se muestran en la serie encontramos que interfiere en las brújulas, causa problemas en los equipos de comunicaciones y distorsiona el espacio y el tiempo, provocando a sus habitantes visiones del pasado y del futuro, e incluso viajes en el tiempo. Además, la cantidad de energía es tan grande que si se liberase podría causar una catástrofe global. Uno de los grandes misterios de la serie, los números 4, 8, 15, 16, 23 y 42 que obsesionaron a los espectadores, están relacionados (entre otras cosas) con esta energía electromagnética, pues son una secuencia de números que se deben introducir en un ordenador para provocar una pequeña descarga de la energía acumulada y así evitar su liberación, que como ya hemos mencionado podría provocar una catástrofe.

Si el electromagnetismo desempeña un papel importante en la mitología de la serie, mucho mayor es el que tiene en la vida real, aunque mucha gente desconozca su existencia. De hecho, el electromagnetismo es una de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza (las otras tres son la gravedad, la interacción nuclear débil y la interacción nuclear fuerte). La más intensa es la interacción nuclear fuerte, y la segunda es el electromagnetismo. Este tiene una función crucial en el mantenimiento de la estructura de los átomos, evitando que la materia se desintegre y haciendo posible la química y, en definitiva, la vida. Sin ella, no existiríamos. Además, nos proporciona la luz que nos permite disponer de la visión, así como la gran cantidad de dispositivos que utilizan la electricidad y el magnetismo.

Anteriormente se suponía que la electricidad y el magnetismo eran dos fenómenos distintos y que, por tanto, se correspondían con dos tipos diferentes de fuerzas. Fue el físico danés Hans Christian Ørsted quien en 1820 observó que el paso de una corriente eléctrica a través de un cable provocaba el desplazamiento de una brújula cercana. Dado que la brújula es una aguja imantada, mediante tal experimento se establecía una primera relación entre la electricidad y el magnetismo. Aquel mismo año, el físico André-Marie Ampère vio que dos cables paralelos cercanos por los que circula una corriente se atraen mutuamente si ambas corrientes circulan en la misma dirección, y se repelen si van en sentidos opuestos.

Si los anteriores experimentos demostraban que la electricidad podía ejercer acciones similares a las del magnetismo, pocos años después el físico británico Michael Faraday (sin duda, el personaje de Daniel Faraday de la serie, también físico, es un homenaje al científico inglés) mostró que tal efecto es posible en ambas direcciones. Para ello dispuso un anillo de hierro, y en dos puntos opuestos de él enrolló sendas bobinas de cable aislado. En la primera conectó una batería y en la segunda un galvanómetro. Al conectar la batería a la primera bobina, el galvanómetro mostraba una breve corriente. Es decir, la primera bobina inducía un campo magnético en el hierro y este a su vez generaba una corriente en la segunda bobina. Un dispositivo como el descrito constituye un transformador de corriente alterna que permite convertir el voltaje de entrada a un distinto voltaje de salida. Fueron muy usados en aparatos de radio, televisión,

tocadiscos, etc. para adaptar el voltaje de la corriente doméstica al que necesitaba el dispositivo en cuestión, pero actualmente la mayoría han sido sustituidos por simples circuitos electrónicos.

En 1861, el físico James Clerk Maxwell desarrolló un conjunto de cuatro fórmulas relacionadas que describen el comportamiento de cualquier combinación de campos eléctricos y magnéticos. En ellas se expone, por ejemplo, que mientras que las cargas eléctricas aisladas pueden existir libremente (es decir, una única carga positiva o una única carga negativa), lo mismo no es válido para los imanes (todos los imanes tienen dos polos, uno positivo y otro negativo, y no existen monopolos). Además, las ecuaciones incluyen los fenómenos luminosos y ondulatorios, ya que muestran que los campos eléctricos y magnéticos se desplazan juntos a través del espacio en forma de radiaciones electromagnéticas que se sostienen mutuamente. Con las ecuaciones de Maxwell se completa la visión clásica del electromagnetismo.

Por desgracia, cuando se produce un avance científico o tecnológico siempre hay gobiernos u otras organizaciones que investigan su posible utilización con fines bélicos, y esto sucedió también con el electromagnetismo. De hecho, la presencia de la Iniciativa Dharma en la isla de la serie se debe básicamente al interés que genera para esta organización interesada en la ciencia *fringe* (y aquí hay una interesante conexión con la serie *Fringe,* que hemos visto en el capítulo anterior: cabe recordar que ambas tienen detrás a J.J. Abrams como cocreador y productor ejecutivo) el elevado nivel de electromagnetismo que hay en ella. Gran parte de los fenómenos que vemos en la isla se deben al error de unos trabajadores de la Iniciativa Dharma, que como ya hemos mencionado perforaron una bolsa muy grande de energía electromagnética, liberando una cantidad de esta muy peligrosa. A este error le llaman «el incidente» los miembros de la Iniciativa Dharma y es un momento clave de la serie. La Iniciativa Dharma está envuelta de opacidad y secretismo. Del mismo modo, la mitología ficticia de investigación del electromagnetismo con fines militares también ha sido llevada en secreto. Sabemos que los estudios para el desarrollo de un «rayo de la muerte» empezaron durante la Segunda Guerra Mundial y han continuado desde entonces (los Estados Unidos empezaron a investigar el uso de láseres a finales de la década de 1950). Un arma de este tipo puede producir un impulso electromagnético de duración extremadamente breve, del orden de 100 picosegundos (10^{-10} s), con intensidad suficiente para dañar cualquier objeto conductor de electricidad, incluyendo los nervios y las neuronas de una persona.

En la serie vemos cómo el intenso campo electromagnético que se encuentra en el corazón de la isla interfiere con las brújulas y los equipos de comunicaciones, cosa que se ajusta perfectamente a la realidad. Sin embargo, la serie también nos muestra que el campo electromagnético hace que algunos personajes se curen de sus enfermedades, y si bien las radiaciones electromagnéticas en algunas de sus franjas tienen efectos diversos sobre el cuerpo humano, ninguno de ellos es de este tipo. Entonces, por lo que respecta al problema de estabilizar un agujero de gusano que permita mover la isla a otra posición e incluso hacer viajar en el tiempo a sus habitantes, ¿puede el electromagnetismo estabilizar tal agujero? La verdad es que en el momento actual solo podemos especular sobre ello. En cualquier caso, crear y mantener abierto un agujero de gusano del tamaño necesario para permitir el paso de la isla y sus habitantes requeriría una tecnología enormemente más avanzada que la actual y una cantidad de energía inmensa. El físico teórico Michio Kaku calcula que para trasladar a una sola persona sería necesaria una cantidad de energía positiva similar a la de toda una estrella, más otra cantidad de energía negativa como la que puede proporcionar una masa del tamaño de Júpiter. Además, cualquier pequeño error que se produjera podría acabar destruyendo la Tierra. En resumen, lo descrito en la serie solo es teóricamente posible en un futuro muy lejano.

¿Tiene razón Sheldon Cooper al tener pánico a los gérmenes?

Entre las muchas particularidades de Sheldon Cooper, el protagonista de *The Big Bang Theory,* hay una que en los últimos tiempos ha sido destacada por motivos obvios: la fobia a los gérmenes, que le lleva a ser particularmente cuidadoso en su contacto con otros seres humanos. Esta característica del personaje encaja a la perfección con su preferencia por la soledad, manteniéndose alejado de cualquier contacto social, un entorno en el que a menudo se siente incómodo.
Con la llegada de la pandemia de COVID-19, muchos se habrán acordado del personaje. Nos hemos sentido un poco Sheldon Cooper, intentando mantener la distancia social y pasando gran parte de nuestro tiempo libre haciendo actividades en casa. De hecho, el confinamiento es para Sheldon una especie de paraíso: para alguien que evita salir a la calle (en un episodio, Raj le insiste en ir a un bar: «Salgamos al exterior, Sheldon, el exterior es bueno»; y él responde: «Si el exterior es tan bueno, ¿por qué la humanidad ha pasado tantos años perfeccionando el interior?»). Tener una excusa para poder quedarse en casa es muy bueno. Seguramente, el personaje se sentiría muy feliz recibiendo sus cómics favoritos por correo postal y pasando el día mirando series y películas, o jugando a videojuegos. Pero también podemos imaginar que tendría pánico a la situación y seguramente montaría medidas extremas para no infectarse. De hecho, ya lo hace con algo tan banal como un resfriado. En un episodio en el que Penny vuelve de pasar unos días en Nebraska y descubre que allí había alguien que se había resfriado, Sheldon reacciona alejándose rápidamente de ella y le empieza a hacer preguntas ante la mirada de Leonard. «Relájate, Sheldon», le dice este. «Penny no tiene ningún síntoma, estoy seguro de que no te puede contagiar», asevera. «Oh, por favor», responde Sheldon, «si la gripe solo fuera contagiosa después de la aparición de los síntomas, habría desaparecido hace miles de años». Sheldon pide a Penny que salga del apartamento y, cuando lo hace, se pone a rociar la sala con un espray desinfectante Lysol.

Puede que en esos momentos los espectadores no estuvieran familiarizados con los desinfectantes. Sin embargo, en el último año hemos hecho un curso acelerado de toallitas, geles y pulverizadores. Nos hemos acostumbrado a usarlos de forma recurrente como método de prevención para evitar el contagio de la COVID-19. Esto hace que sea lógico preguntarse si Sheldon tenía razón. En la serie, se describe la actitud de Sheldon como exagerada, y eso es lo que la hace divertida. De hecho, Leonard le tilda de «germafóbico». ¿Pero es realmente exagerado? ¿Podría ser que simplemente Sheldon estuviera siendo más inteligente que ellos dos? Sheldon tiene el comportamiento de alguien que sabe que vive permanentemente acompañado por microorganismos: formas de vida que son demasiado pequeñas para poder ser vistas sin ayuda de un microscopio. Resulta difícil evaluar cuándo aparecieron los primeros microorganismos, pero las estimaciones actuales indican que las primeras células microbianas aparecieron hace entre 3800 y 4300 millones de años. En aquel tiempo, la atmósfera terrestre no contenía oxígeno, solo nitrógeno y dióxido de carbono, y hace unos 3000 millones de años las cianobacterias empezaron una lenta oxigenación de la atmósfera, que alcanzó el nivel actual de oxígeno hace 600 millones

de años. Entonces aparecieron los primeros eucariontes multicelulares y progresivamente el resto de la vida terrestre: hongos, plantas y animales. Por lo que respecta a los humanos, somos unos recién llegados, pues el *Homo sapiens* surgió hace 0,3 millones de años (si comprimiéramos la historia de la vida en un día terrestre, los humanos solo apareceríamos en los últimos 6 segundos).

Podemos afirmar que los microorganismos han creado el resto de la vida terrestre, incluida la nuestra, pues toda la vida actual está formada a partir de las estructuras de los microorganismos. Estos constituyen las piezas originales y aún hoy continúan evolucionando. Se calcula que existen alrededor de un billón (10^{12}) de especies distintas de microorganismos, y se las puede encontrar tanto en la atmósfera, a varios kilómetros de altura, como en las mayores profundidades de los océanos o a varios kilómetros bajo tierra. Están en el aire, los alimentos, las plantas, los animales, el suelo, el agua, las superficies y, por supuesto, en nuestro propio cuerpo.

¿Por qué Sheldon se preocupa por su digestión?

Los microorganismos están relacionados con la preocupación que Sheldon tiene por el correcto funcionamiento de su aparato digestivo. Seguramente recordáis menciones, esparcidas durante toda la serie, que el personaje hace sobre la regularidad con que va al baño. Puede parecer que esto no tiene que ver con su miedo a los gérmenes, pero es justo al revés. Aunque podría pensarse que el estado ideal del cuerpo humano sería estar libre de microorganismos foráneos, Sheldon sabe que esto no es así. De hecho, el cuerpo de una persona adulta de unos 70 kg contiene aproximadamente unos 30 billones de células humanas y unos 38 billones de microorganismos pertenecientes a más de 500 especies distintas. En realidad, podemos considerar que el cuerpo humano es un superorganismo (la agrupación de un número ingente de microorganismos). Hay unas 10.000 especies diferentes de microorganismos entre todos los humanos y unas 2000 en cada persona, de las cuales 1000 se encuentran en el intestino, 300 en la boca, 850 en la piel y entre decenas y cientos en el aparato urogenital. En su conjunto constituyen la microbiota humana (bacterias, virus y hongos), que desempeña un papel fundamental en nuestra salud.
El conjunto de genes de los microorganismos no humanos presentes en nuestro organismo recibe el nombre de microbioma. La cantidad de genes contenidos en la flora intestinal es 150 veces mayor que la contenida en nuestro genoma, e incluso un 8% del ADN de nuestro genoma deriva de genomas víricos.

El desequilibrio del ecosistema microbiótico del cuerpo es la causa del aumento de las alergias y otras enfermedades de la vida moderna, pero la influencia del microbioma en nuestra salud no se limita a los aspectos meramente físicos. En la última década (desde 2010), los investigadores han reunido evidencia suficiente que permite afirmar que los microorganismos residentes en el intestino influyen en la salud mental y la cognición, y en el origen de trastornos como la ansiedad, la depresión, el insomnio o el Alzheimer, e incluso afectan de manera significativa a la manera en que pensamos, sentimos y actuamos. Se trata de una influencia bidireccional entre la microbiota y el cerebro, que se evidencia en la relación (observada estadísticamente) entre los trastornos gastrointestinales y ciertos problemas neuropsiquiátricos, como el trastorno bipolar o la depresión, o entre la esquizofrenia y la inflamación gastrointestinal.
En concreto, los microorganismos que residen en los intestinos causan efectos en el cerebro por diversas vías:

- Los microbios del intestino segregan sustancias que se infiltran en los vasos sanguíneos y alcanzan el cerebro.
- Los microbios provocan que las células neurópodas en el revestimiento del intestino estimulen el nervio vago que conecta directamente con el cerebro.

- De forma indirecta, los microbios activan las células enteroendocrinas del revestimiento del intestino que envían hormonas por todo el cuerpo.
- De manera aún más indirecta, los microbios influencian los inmunocitos y generan inflamación que puede afectar al cerebro.

Ello ha llevado a acuñar un nuevo concepto, el psicobioma, y abre un amplio campo para la investigación de nuevas terapias. Ya se están llevando a cabo experimentos tanto para tratar problemas mentales mediante psicobióticos como para mejorar la salud intestinal mediante cambios en el comportamiento. Así que la preocupación de Sheldon Cooper por su aparato digestivo está directamente relacionada con su miedo a los microorganismos nocivos.

¿A qué virus teme Sheldon?

A diferencia del resto de los microorganismos, los virus no son células, sino que están compuestos de dos partes: un genoma (ácido nucleico) en el que van codificadas las funciones necesarias para la replicación y una capa protectora de proteína denominada cápside. El conjunto se denomina virión y en algunos casos, en especial en los virus que afectan a los animales, está rodeado por una capa de proteínas y lípidos denominada envoltura. El genoma puede ser ADN o ARN, según el tipo de virus, y suele contener entre 2 y 200 genes en los que están codificadas las instrucciones que les permiten modificar las células hospedadoras.

Las cápsides son de formas y tamaños distintos, según la familia a la que pertenece el virus. La mayoría de los virus son entre 100 y 500 veces más pequeños que las bacterias, aunque se han descubierto virus gigantes que alcanzan tamaños similares a los de algunas células bacterianas. Los virus se adaptan rápidamente a nuevos entornos, adoptando variadas estrategias metabólicas, y algunos de ellos pueden permanecer en un estado durmiente durante millones de años. Intervienen de manera activa en los ciclos de carbono, oxígeno y nitrógeno que producen gran parte de los elementos necesarios para el mantenimiento de la vida en la Tierra.

Se estima que en la Tierra existen del orden de 10^{31} virus, cien millones de veces más que estrellas hay en el universo conocido. Según un artículo publicado en el año 2011 en la revista *Nature Reviews Microbiology,* si pusiéramos en fila todos los virus existentes en la Tierra se extenderían hasta 100 millones de años luz. En cuanto al número de tipos, cambia constantemente, pero las estimaciones oscilan entre 500.000 y más de un millón. De ellos, apenas algo más de 200 infectan a los humanos, ya que cada tipo de virus suele infectar únicamente a una especie o a pocas de ellas con hábitats cercanos. El cuerpo de una persona saludable está repleto de virus. Del mismo modo que hemos hablado del microbioma humano podemos hablar del viroma humano. Este, como el microbioma, es específico de cada individuo y se mantiene bastante estable durante largos periodos de tiempo.

A diferencia de los microorganismos celulares, los virus no pueden replicarse a menos que el virión haya logrado entrar en una célula hospedadora adecuada, un proceso denominado infección. Para ello, el virión cumple dos funciones: proteger el genoma viral mientras el virus está fuera de la célula hospedadora y pegarse a esta mediante las proteínas de su superficie. Cuando lo consigue, puede replicarse y destruir la célula (infección lítica), o alterar el genoma de esta insertando el genoma del virus (infección lisogénica). Sin embargo, la mayoría de los virus conocidos no son patógenos; simplemente se instalan en las células y allí permanecen inactivos o aprovechan los mecanismos de replicación de estas para reproducirse. Tales virus han desarrollado maneras de evitar ser reconocidos por el sistema inmunitario del hospedador. Incluso partes del genoma viral pueden pasar al del hospedador, generando variaciones genéticas en la especie. De hecho, esta es una vía importante de innovaciones evolutivas.

Aunque el número de tipos de virus existentes ronda el millón, solo algo más de 200 infectan a los humanos. Aquí citaremos únicamente unos pocos de los más significativos. La división principal se hace en función de su ácido nucleico, y así tenemos virus ADN y virus ARN.
A continuación relacionamos unas pocas familias de virus destacados de ambos grupos:

- Virus ADN:
  - Hepadnavirus: causa la hepatitis B en humanos.
  - Herpesvirus: causa el herpes.
  - Papilomavirus: puede causar papilomas o cánceres malignos en humanos.
- Virus ARN:
  - Bunyavirus: causan enfermedades respiratorias agudas en humanos cuando estos han estado en contacto con roedores infectados.
  - Coronavirus: gran familia de virus caracterizados por tener en su superficie unas espículas de glucoproteína en forma de palo de golf que hacen que el virus parezca tener una corona. Afectan generalmente a animales domésticos, murciélagos y pájaros. Son muy contagiosos. Hasta el momento, solo siete de estos virus afectan a los humanos, y de ellos, cuatro tan solo provocan un resfriado común. Sin embargo, los tres restantes tienen consecuencias más graves. El SARS-CoV, identificado en 2002, causa un síndrome respiratorio agudo grave (SARS). El MERS-CoV, identificado en 2012, causa el síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS). Por su parte, el SARS-CoV-2 es el causante de la COVID-19 *(COronaVIrus Disease 2019)* que comenzó en Wuhan, China, a finales de 2019 y rápidamente se ha ido expandiendo por todo el mundo.
  - Influenzavirus: son de tres tipos, denominados A, B y C. El tipo A es el que causa las epidemias de gripe. El virus circula alrededor del mundo, por lo que evoluciona de modo continuo.
  - Virus de la inmunodeficiencia humana: causa del sida.

El virus influenza es el más temido por Sheldon. O al menos, lo era cuando se emitía la serie. Es muy probable que si la serie se siguiera emitiendo hoy, el coronavirus habría pasado a ser el virus que le provocaría mayores temores.

¿Por qué Sheldon vigila su cepillo de dientes?

Muy a pesar de Sheldon, no siempre puede controlar no tener agentes infecciosos cerca. Pocas veces se ha visto a Sheldon más horrorizado que cuando descubrió que Raj había usado su cepillo de dientes. Lo que él no sabe es que Raj no fue el único. Penny también lo utilizó en una ocasión, pero nunca lo reveló. La relación de Sheldon con el cepillo de dientes fue utilizada posteriormente por los guionistas para mostrar el grado de compromiso de Sheldon en su relación con Amy, a la que en un momento crucial de su relación le propone compartir el mismo vaso para guardar sus respectivos cepillos de dientes. Lo de compartir el cepillo es inconcebible, por supuesto, ni con el amor de su vida ni con nadie. Porque Sheldon sabe que un cepillo de dientes puede ser un foco de agentes infecciosos. Los hay de distintos tipos: bacterias, virus, hongos (la mayor parte son inofensivos para los humanos), protistas (causan enfermedades parasitarias que pueden ser viscerales o de los tejidos internos) y helmintos (unos gusanos diminutos que penetran en los tejidos humanos y provocan enfermedades como la esquistosomiasis y la filariasis). El número y la variedad de agentes infecciosos son enormes, y el cuerpo humano, como el de otros animales, está constantemente expuesto a ser infectado por alguno de ellos. Además, muchos microorganismos, en especial los virus, mutan continuamente para vencer las defensas de sus posibles víctimas. ¿Cómo puede nuestro sistema inmunitario luchar contra una amenaza tan variada y cambiante?

Para responder esta pregunta debemos tener en cuenta que el sistema inmunitario es un sistema dinámico complejo. A diferencia de los sistemas cuyos elementos no interaccionan, en los sistemas

dinámicos complejos los elementos de un conjunto interactúan entre sí y con el entorno, y en ellos emergen nuevas propiedades que no existían en los componentes originales y que tampoco pueden deducirse linealmente. Entonces, el sistema complejo adquiere una identidad propia. Su complejidad nace de un gran número de componentes individuales muy simples con fuertes interrelaciones y realimentaciones, pero sin que ninguno de ellos actúe como coordinador. La estructura generada presenta diversos niveles de abstracción entre los que se establecen relaciones causales de doble sentido.

Para que un sistema dinámico complejo sea capaz de responder a las condiciones cambiantes de su entorno debe conjugar dos condiciones aparentemente contradictorias: que sus componentes estén lo bastante estructurados como para funcionar como un conjunto, y que al mismo tiempo cada uno de ellos disponga de autonomía suficiente para su actuación. Entre la rigidez y el desorden hay una zona crítica intermedia, conocida como «límite del caos», en la que el sistema adquiere su capacidad de adaptación. En este caso, adaptarse a la mayoría de los ataques externos. El sistema inmunitario tiene dos tipos de defensa: la innata y la adaptativa. La primera está activada sin necesidad de exposición previa a las amenazas. La respuesta generada es rápida, generalmente en pocas horas, y depende en gran medida de los fagocitos, unas células que matan y digieren a los patógenos. Cuando la defensa innata no es suficiente se activa la defensa adaptativa, que a diferencia de la innata es específica para el tipo de patógeno y es llevada a cabo por los linfocitos.

¿El miedo de Sheldon está relacionado solo con la ciencia?

Los conocimientos científicos son la base del comportamiento del personaje, en esta y en muchas otras cuestiones. Sin embargo, también tiene un papel relevante el imaginario que la ficción ha construido alrededor de los virus, y en especial de las pandemias. Sabemos, por ejemplo, que Sheldon es un espectador habitual de *The Walking Dead* (serie de la que hace un *spoiler* al pobre Leonard, que también la sigue con devoción). Por supuesto, *The Walking Dead* es una serie sobre un virus que no existe, pues lo que hace es convertir a las personas fallecidas en muertos vivientes. Pero es una forma que tiene la ficción de tratar un miedo que sí existe, que es el hecho de que estalle una pandemia de un virus contra el cual la capacidad de adaptación del sistema inmunitario no pueda hacer nada y provoque miles de muertes. La mayoría de las ficciones que abordan este tema hacen énfasis en la reacción que los seres humanos muestran en esta situación, tanto en series de género, como es *The Walking Dead,* como en series realistas, como la francesa *El Colapso,* que se estrenó apenas un año antes del inicio de la pandemia del coronavirus. Son historias que se fijan en cómo las personas reaccionaríamos ante una situación extrema que pone a prueba los valores de los individuos. En la mayoría de estas ficciones, el ser humano cae en comportamientos egoístas, llegando a cometer actos deleznables con tal de asegurar su supervivencia. Es un contexto en el que alguien como Sheldon no se sentiría en absoluto cómodo, así que este imaginario terrorífico añade una capa más de motivos para tener miedo a los virus. Podemos decir con seguridad que la lucha por la supervivencia no es algo para lo que Sheldon Cooper sienta que está preparado.

Sin embargo, él sabe muy bien que la vida en la Tierra es una lucha constante por la supervivencia. Es esta lucha lo que lleva a la evolución de las especies. A menudo, las especies recurren a alimentarse de otras o a parasitarlas, en ocasiones de maneras tan sofisticadas como en el caso del parásito *Toxoplasma gondii*. Por lo que respecta a los microrganismos, muchos de ellos invaden los cuerpos de otros animales (o plantas), en ocasiones cooperando con ellos, como hacen los que viven en nuestro cuerpo, y en otras causando problemas más o menos graves para el hospedador.

El caso de los coronavirus nos muestra un ejemplo de ello. Todo parece indicar que el causante de la COVID-19 es un virus presente en los murciélagos, unos animales que pueden ser portadores de diversos virus mortales, como el del Ébola, el de la rabia o el SARS-CoV2. A ellos no les afectan, ya que en general los virus solo infectan a determinadas especies. Sin embargo, algunos murciélagos de Norteamérica sufren el llamado «síndrome de la nariz blanca», que les causa millones de muertes (debido al hongo *Pseudogymnoascus destructans*).

El miedo de Sheldon a las pandemias está relacionado con la expansión de la enfermedad. Sin embargo, cabe distinguir, según la denominación de la Organización Mundial de la Salud, tres conceptos distintos: brote, epidemia y pandemia. El primero se utiliza cuando una enfermedad se presenta en mayor número o de forma distinta a lo que es habitual. Por ejemplo, en el Reino Unido se producen cada año alrededor de 1200 casos de meningitis meningocócica, la mayoría de los cuales son esporádicos y no generan nuevas infecciones, pero si en un espacio de tiempo reducido y en una misma ubicación se detectan varios casos, estos serán tratados como un brote. En cambio, una epidemia es la ocurrencia en una comunidad o región de un número de casos de una enfermedad por encima de los que se producen habitualmente. Aunque la definición es muy parecida a la anterior, el término «brote» suele utilizarse cuando la enfermedad está circunscrita a un área geográfica limitada, y si esta se expande rápidamente a otras zonas entonces hablamos de epidemia. Por último, una pandemia se refiere a una enfermedad que se produce en todo el mundo o sobre un área muy extensa, que atraviesa límites internacionales y afecta un gran número de personas. En cierto modo, la denominación de pandemia se usa para indicar a los gobiernos que es necesaria una acción colectiva mundial, como es el caso que estamos viviendo con la COVID-19.

Por último, un término relacionado con los anteriores es el de endemia, del que Sheldon Cooper solo se debería preocupar si decidiera viajar a algún país con una enfermedad que tenga allí una presencia permanente. Es algo que sabemos que, a causa de su carácter, difícilmente hará, pues lo considerará un riesgo que puede evitar. Su pasión por las culturas del mundo puede expresarla tranquilamente desde el sofá de su apartamento presentando su programa *Fun With Flags.* Decimos que se trata de una endemia, o que una enfermedad es endémica, cuando está presente habitualmente en una parte más o menos constante de la población de una zona geográfica concreta. Así, por ejemplo, la malaria es endémica en diversas áreas del mundo, sobre todo en África, donde se concentran el 90% de los casos, debidos principalmente a los mosquitos *Anopheles* y las condiciones climáticas.

La humanidad se ha visto afectada por numerosas epidemias y pandemias a lo largo de su existencia, e incluso en ocasiones han cambiado el ritmo de la historia. De ellas, cabe destacar la Peste Negra, que tuvo lugar entre 1346 y 1353, y causó la muerte de entre 50 y 200 millones de personas en Europa, Asia y el Norte de África (entre la cuarta parte y la mitad de la población mundial de aquel tiempo). Fue causada por la peste bubónica, una infección producida por la bacteria *Yersinia pestis* que normalmente se encuentra en animales pequeños y en las pulgas que los parasitan. Actualmente aún se puede encontrar en África, Asia y Sudamérica, y se han registrado casos en otros territorios. La siguiente, por número de fallecidos, fue la mal llamada Gripe Española, iniciada en plena Primera Guerra Mundial y que se extendió entre 1918 y 1919, causando la muerte de entre 20 y 100 millones de personas (entre el 1 y el 5% de la población mundial de entonces). Resulta difícil precisar el número exacto puesto que los países en conflicto ocultaban sus bajas. Como España se mantuvo neutral durante la guerra y sus periódicos informaban libremente de la situación, ello propició que se diera a aquella pandemia el nombre

de «gripe española». En comparación, la pandemia de COVID-19 ha producido (en el momento de redactar estas líneas, junio de 2021) una mortalidad muy inferior. Las muertes acumuladas hasta el presente en todo el mundo han sido unos 3,9 millones, sobre una población mundial de 7870 millones de personas, es decir, del orden del 0,05%.

¿Qué pensaría Sheldon de los antivacunas?

Las vacunas activan la respuesta inmunitaria contra un microbio sin tener que pasar la enfermedad, y de este modo la persona queda protegida para eventuales futuras infecciones. Inicialmente se inyectaba el microbio inactivado, y más tarde solo una proteína de este. Las proteínas son moléculas complejas que están presentes en todos los organismos vivos y llevan a cabo numerosas funciones esenciales para la vida (el término «proteína» fue acuñado por el químico sueco Jöns Jacob Berzelius en 1838, a partir del griego antiguo πρωτεῖος, que significa «primario»).

Las proteínas son específicas de cada especie e incluso de cada órgano del cuerpo. Son moléculas muy grandes formadas por muchos aminoácidos unidos en largas cadenas. Hay unos 20 tipos diferentes de aminoácidos en las proteínas, del más de un centenar que se encuentran en la naturaleza. Las plantas pueden sintetizar todos los aminoácidos a partir de nutrientes inorgánicos que obtienen del suelo y el anhídrido carbónico del aire mediante el proceso de fotosíntesis. En cambio, los animales deben obtener los nutrientes orgánicos de otras fuentes, ya sea de las plantas (los rumiantes) o de otros animales y sus productos (como la leche y los huevos).

Las células humanas y de otros animales fabrican las proteínas que necesitan siguiendo las instrucciones del genoma humano. Este está codificado en el ADN contenido en el núcleo celular. Para fabricar la proteína, la célula copia la parte del ADN que contiene la «receta» en otra molécula más pequeña, denominada ARN mensajero. En 1989 se vio que este proceso podía emularse envolviendo la molécula de ARN con una capa de lípidos, lo que podía ser utilizado para la obtención de vacunas. Bastaba enviar las instrucciones contenidas en la proteína de un microbio a la célula humana para que esta fabricase la proteína del microbio, que una vez detectada por el sistema inmunitario generaría los anticuerpos protectores.

La idea era buena, pero su puesta en práctica era compleja y costosa. Se realizaron experimentos, estudios y ensayos clínicos, hasta que la pandemia de COVID-19 supuso el empuje necesario para desarrollar la vacuna. En apenas un año, las vacunas de Pfizer/BioNTech y Moderna superaban las pruebas y eran puestas en el mercado, y pronto siguieron otras, como las de Janssen (Johnson & Johnson), AstraZeneca, Nova Vax, Sputnik V, CanSino, etc. Además, este tipo de vacunas son fácilmente adaptables para otras enfermedades, lo que permite pensar en la fabricación de vacunas de ARN mensajero que protejan a la vez frente a varias enfermedades. No hay ningún riesgo de que el ARN inyectado entre en el núcleo celular, y aunque lo hiciera no podría mezclarse con el ADN humano porque son incompatibles. Las vacunas actuales utilizan información genética, una idea que se empezó a desarrollar hace unos 30 años y que a raíz de la COVID-19 se ha acelerado. La vacuna de la farmacéutica norteamericana Moderna se basa en la tecnología de ARN mensajero que ya se empezó a probar en la década de 1990.

El rápido desarrollo de vacunas para la COVID-19 contrasta con el caso del virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) que produce el sida. Desde los primeros casos detectados en los años 1980, el VIH ha causado unos 35 millones de muertes y actualmente hay unos 38 millones de personas que viven con VIH. De ellas, solo dos se han curado definitivamente del virus, uno por un trasplante de médula y otro al que se le implantaron células madre de un donante con una mutación resistente al VIH. Este virus ataca a los linfocitos CD4, un tipo de células fundamentales de nuestro sistema

inmunitario. Se propagan destruyendo de manera progresiva los linfocitos CD4. El afectado no tiene defensas y puede sufrir otras de las llamadas enfermedades oportunistas. La lucha contra el VIH se lleva a cabo con fármacos antirretrovirales, un tratamiento de por vida, ya que el virus permanece latente.

¿Por qué en menos de un año tenemos una vacuna contra la COVID-19 y en casi 40 años (y tras 35 millones de muertes) no se ha conseguido ninguna contra el VIH? El virus de la gripe y el del sida tienen la capacidad de cambiar rápidamente. Sus genomas están hechos de ARN, que es menos estable y por tanto más propenso a mutaciones que el ADN. Ello obliga a cambiar periódicamente la formulación de las vacunas de la gripe, y ha hecho imposible hasta el momento hallar una vacuna para el VIH. En cambio, los coronavirus son más estables genéticamente porque contienen un mecanismo de corrección de los errores producidos por las modificaciones de su código genético.

Teniendo en cuenta las dificultades y el esfuerzo, tanto humano como económico, que hay detrás del desarrollo de una vacuna, no hay duda de que Sheldon no entendería a los antivacunas. Para él se trataría de una posición no racional y menospreciaría a los antivacunas, achacándoles falta de conocimiento. A lo largo de la serie, el personaje se muestra siempre didáctico y dispuesto a compartir la ciencia con los demás, pero al mismo tiempo es tajante con las pseudociencias y en general con cualquier disciplina que no esté fundamentada en el método científico y que pretenda explicar el mundo basándose en suposiciones, conjeturas o directamente falsedades. Habría sido divertido ver al personaje reaccionando a la propuesta de Donald Trump de tratar la COVID-19 con inyecciones de desinfectante. Al mismo tiempo, no cabe duda de que consideraría a los antivacunas y los que propagan sus ideas como un peligro para la sociedad.

¿Tiene razón Sheldon al tener pánico a los gérmenes?

La Organización Mundial de la Salud, en una publicación de 2018, nos recuerda que en la década de 1970 el desarrollo de nuevas vacunas, antibióticos y otros tratamientos y tecnologías nos indujo a creer que la humanidad había conseguido una victoria sobre los microbios. Pero estos no desaparecieron. Desde entonces se han descubierto más de 1500 nuevos patógenos, un 70% de ellos de origen animal. Pensemos en el Ébola, en 1976, o el VIH, en 1983. Este último ha infectado alrededor de 70 millones de personas en 35 años, y ha matado a unos 35 millones de personas. Y las enfermedades antiguas no nos han abandonado. La peste parece cosa del pasado y, sin embargo, un brote de peste en Madagascar en 2017 provocó la muerte de 209 personas, de un total de 2417 contagiadas. No solo no desaparecen las enfermedades antiguas, sino que a menudo surgen otras nuevas, como el SARS en 2003, la gripe H1N1 (un nuevo virus) en 2009, el MERS en 2012, el Ébola en África Occidental en 2014, o el virus Zika en 2015. Así que, con estos datos en la mano, es lógico tener al menos una actitud prudente y responsable en relación a los patógenos.

Por supuesto, Sheldon Cooper es un personaje cómico en una serie cómica, y su reacción es exagerada en prácticamente todas las situaciones que se le presentan, ya sea huyendo de cualquiera que tenga un resfriado, vigilando que nadie utilice su cepillo de dientes o, en otras ocasiones, intentando sustituir el contacto humano por otra fórmula «menos peligrosa». En un episodio llegó a construir un pequeño robot con el que podía ir de un lugar a otro y comunicarse desde la seguridad de su habitación. Curiosamente, unos robots muy parecidos fueron utilizados en el año 2020, en plena pandemia, en una ceremonia de graduación de la Universidad de Tokio para que los alumnos pudieran asistir de forma remota. Sin embargo, detrás de este pánico humorístico que presenta el personaje de Sheldon hay una preocupación que es, o debería ser, real. No deberíamos tener miedo de los gérmenes, pero sí conocer las

precauciones necesarias para prevenir infecciones, especialmente en caso de epidemias y pandemias como la que estamos viviendo.

Al mismo tiempo, la sociedad y cada uno de nosotros deberíamos cambiar nuestras formas de vida, los métodos de producción y las relaciones entre países. Las importantes desigualdades entre zonas geográficas y las facilidades de desplazamiento hacen que un patógeno que surja en cualquier lugar del mundo pueda expandirse rápidamente por todo el planeta. Las medidas tradicionales ya no son eficaces. Hace poco más de un siglo, la mal denominada Gripe Española mató entre el 1% y el 5% de la población mundial. En este momento, en algún lugar del mundo podría estar produciéndose una mutación de un supervirus con una capacidad letal mucho mayor que la del SARS-CoV-2. Cuando esto suceda e infecte al primer humano, ¿estaremos preparados para evitar la desaparición de nuestra especie?

Cuadernos de la Fundación Dr. Antoni Esteve

Puede solicitar los cuadernos a través de www.esteve.org.

1. Guardiola E, Baños JE. Eponímia mèdica catalana. Quaderns de la Fundació Dr. Antoni Esteve, Nº 1. Barcelona: Prous Science; 2003.
2. Debates sobre periodismo científico. A propósito de la secuenciación del genoma humano: interacción de ciencia y periodismo. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 2. Barcelona: Prous Science; 2004.
3. Palomo L, Pastor R, coord. Terapias no farmacológicas en atención primaria. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 3. Barcelona: Prous Science; 2004.
4. Debates sobre periodismo científico. En torno a la cobertura científica del SARS. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 4. Barcelona: Prous Science; 2006.
5. Cantillon P, Hutchinson L, Wood D, coord. Aprendizaje y docencia en medicina. Traducción al español de una serie publicada en el British Medical Journal. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 5. Barcelona: Prous Science; 2006.
6. Bertomeu Sánchez JR, Nieto-Galán A, coord. Entre la ciencia y el crimen: Mateu Orfila y la toxicología en el siglo XIX. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 6. Barcelona: Prous Science; 2006.
7. De Semir V, Morales P, coord. Jornada sobre periodismo biomédico. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 7. Barcelona: Prous Science; 2006.
8. Blanch Ll, Gómez de la Cámara A, coord. Jornada sobre investigación en el ámbito clínico. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 8. Barcelona: Prous Science; 2006.
9. Mabrouki K, Bosch F, coord. Redacción científica en biomedicina: Lo que hay que saber. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 9. Barcelona: Prous Science; 2007.
10. Algorta J, Loza M, Luque A, coord. Reflexiones sobre la formación en investigación y desarrollo de medicamentos. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 10. Barcelona: Prous Science; 2007.
11. La ciencia en los medios de comunicación. 25 años de contribuciones de Vladimir de Semir. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 11. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2007.
12. Debates sobre periodismo científico. Expectativas y desencantos acerca de la clonación terapéutica. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 12. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2007.
13. Gonzàlez-Duarte R, coord. Doce mujeres en la biomedicina del siglo XX. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 13. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2007.
14. Mayor Serrano MB. Cómo elaborar folletos de salud destinados a los pacientes. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 14. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2008.
15. Rosich L, Bosch F, coord. Redacció científica en biomedicina: El que cal saber-ne. Quaderns de la Fundació Dr. Antoni Esteve, Nº 15. Barcelona: Fundació Dr. Antoni Esteve; 2008.
16. El enfermo como sujeto activo en la terapéutica. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 16. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2008.
17. Rico-Villademoros F, Alfaro V, coord. La redacción médica como profesión. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 17. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2009.
18. Del Villar Ruiz de la Torre JA, Melo Herráiz E. Guía de plantas medicinales del Magreb. Establecimiento de una conexión intercultural. Cuadernos de la Fundación

Dr. Antonio Esteve, Nº 18. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2009.

19. Gonzàlez-Duarte R, coord. Dotze dones en la biomedicina del segle xx. Quaderns de la Fundació Dr. Antoni Esteve, Nº 19. Barcelona: Fundació Dr. Antoni Esteve; 2009.
20. Serés E, Rosich L, Bosch F, coord. Presentaciones orales en biomedicina. Aspectos a tener en cuenta para mejorar la comunicación. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 20. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2010.
21. Francescutti LP. La información científica en los telediarios españoles. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 21. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2010.
22. Guardiola E, Baños JE. Eponímia mèdica catalana (II). Quaderns de la Fundació Dr. Antoni Esteve, Nº 22. Barcelona: Fundació Dr. Antoni Esteve; 2011.
23. Mugüerza P. Manual de traducción inglés-español de protocolos de ensayos clínicos. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 23. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2012.
24. Marušić A, Marcovitch H, coord. Competing interests in biomedical publications. Main guidelines and selected articles. Esteve Foundation Notebooks, Nº 24. Barcelona: Esteve Foundation; 2012.
25. De Semir V, Revuelta G, coord. El periodismo biomédico en la era 2.0. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 25. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2012.
26. Casino G, coord. Bioestadística para periodistas y comunicadores. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 26. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2013.
27. Carrió M, Branda LA, Baños JE, coord. El aprendizaje basado en problemas en sus textos. Ejemplos de su empleo en biomedicina. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 27. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2013.
28. El científico ante los medios de comunicación. Retos y herramientas para una cooperación fructífera. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 28. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2013.
29. Giba J. Developing skills in scientific writing. Esteve Foundation Notebooks, Nº 29. Barcelona: Esteve Foundation; 2014.
30. Bigorra J, Bosch F, coord. Filantropía en investigación e innovación biosanitaria en Cataluña. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 30. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2014.
31. Francescutti LP. Los públicos de la ciencia. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 31. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2014.
32. Casino G, Fernández E, coord. Epidemiología para periodistas y comunicadores. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 32. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2014.
33. Gallego Borghini L. La traducción inglés-español del consentimiento informado en investigación clínica. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 33. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2015.
34. Casino G. Escepticemia. Una mirada escéptica sobre la salud y la información. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 34. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2015.
35. De la Torre T, coord. La Medicina en las series de televisión. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 35. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2016.
36. Hernández I, coord. Definición de prioridades en políticas de salud. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 36. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2016.
37. Mayor Serrano MB. El cómic como recurso didáctico en los estudios de Medicina. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 37. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2016.
38. Guardiola E, Baños JE. Eponímia mèdica catalana (III). Quaderns de la Fundació Dr. Antoni Esteve, Nº 38. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2016.
39. Claros Díaz MG. Ideas, reglas y consejos para traducir y redactar textos científicos en español. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 39. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2016.
40. Revuelta G, Morales P, coord. Debate sobre periodismo científico. El tratamiento informativo del

brote epidémico del virus del Ébola. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 40. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2016.
41. Valls R, Bigorra J, coord. Philanthropy in research and innovation in biosciences. Esteve Foundation Notebooks, Nº 41. Barcelona: Esteve Foundation; 2017.
42. De la Torre T, coord. Medicine in Television Series. Esteve Foundation Notebooks, Nº 42. Barcelona: Esteve Foundation; 2017.
43. Lumbreras B, Ronda E, Ruiz-Cantero Mª T, coord. Cómo elaborar un proyecto en ciencias de la salud. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 43. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2018.
44. Francescutti P. La visibilidad de las científicas españolas. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 44. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2018.
45. Cercerols R, de la Torre T. La ciencia de The Big Bang Theory. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 45. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2018.
46. Mugüerza P. Manual de traducción inglés-español de protocolos de ensayos clínicos. 2ª edición revisada. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 46. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2019.
47. Estopà R, coord. L'informe mèdic: com millorar-ne la redacció per facilitar-ne la comprensió. Quaderns de la Fundació Dr. Antoni Esteve, Nº 47. Barcelona: Fundació Dr. Antoni Esteve; 2018.
48. Jar N, Díez D, Morales P, coord. La ciencia impaciente durante la COVID-19. Errores y desafíos en la comunicación de la investigación farmacológica en torno a la COVID-19. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, Nº 48. Barcelona: Fundación Dr. Antonio Esteve; 2021.

Las series de televisión de más éxito también plantean incógnitas científicas. El divulgador Ramon Cererols y el crítico de series Toni de la Torre las resuelven en este libro de la forma más didáctica

9 788412 424706