



el

Christophe Galfard

El universo en tu mano

UN VIAJE EXTRAORDINARIO
A LOS LÍMITES DEL
TIEMPO Y EL ESPACIO



Lectulandia

No estás solo en el universo. Y no estás solo en este viaje por el universo. Estás tumbado mirando el cielo en una playa cuando alguien te coge de la mano. Te guía en una odisea alucinante hasta los agujeros negros, las galaxias más lejanas y el inicio mismo del cosmos. Abandonas tu cuerpo y te desplazas a velocidades imposibles, te introduces en un núcleo atómico, viajas en el tiempo, entras en el Sol. No es que te expliquen el universo. Es que lo tocas. No es que por fin entiendas el universo. Lo tienes en tu mano.

Lectulandia

Christophe Galfard

El universo en tu mano

Un viaje extraordinario a los límites del tiempo y el espacio

ePub r1.0

Skynet 27.04.2019

Título original: *The Universe in Your Hand. A Journey through Space, Time, and Beyond*
Christophe Galfard, 2016
Traducción: Pablo Álvarez Ellacuria
Retoque de cubierta: Skynet

Editor digital: Skynet
ePub base r2.1



más libros en lectulandia.com

A Marius y Honoré

Prefacio

Antes de empezar, hay dos cosas que me gustaría compartir contigo.

La primera es una promesa; la segunda, una intención.

Mi promesa es que en todo el libro solo hay una ecuación. Esta:

$$E = mc^2$$

La intención, mi intención, es que a lo largo de este libro ningún lector se quede rezagado.

Estás a punto de emprender un viaje por el universo tal y como lo entiende la ciencia actual. Estoy plenamente convencido de que todos somos capaces de comprender la información que nos puede proporcionar.

Y tu viaje comienza ahora, muy lejos de tu hogar, en la otra punta de la Tierra.

Primera parte
El cosmos

1

Un estallido silencioso

Imagina que te encuentras en una remota isla volcánica durante una calurosa y despejada noche de verano. Las aguas del océano que te rodea están tan calmas como las de un lago. El insignificante oleaje apenas alcanza a lamer la arena de la orilla. No se oye ningún ruido. Estás tendido en la arena, con los ojos cerrados. La arena, recocida por el Sol, calienta el aire, saturado de aromas dulzones y exóticos. Nada perturba la paz del ambiente.

De repente, un chillido a lo lejos te hace respingar y otear con preocupación la oscuridad.

Y a continuación... Nada.

Lo que fuera que chillaba calla ahora. No hay nada que temer, después de todo. Puede que esta isla sea peligrosa para algunas criaturas, pero no para ti. Eres un ser humano, el más poderoso de los depredadores. Tus amigos vendrán en breve para tomar una copa contigo; estás de vacaciones, así que te recuestas en la arena para concentrarte en pensamientos propios de tu especie.

Una infinidad de lucecitas parpadea a lo largo y ancho del firmamento. Incluso a simple vista notas que están por todas partes. Y recuerdas las preguntas que te hacías de niño: ¿qué son esas estrellas? ¿Por qué parpadean? ¿A qué distancia están? Y, por último, te preguntas: ¿llegaremos a saberlo algún día? Luego, con un suspiro, vuelves a relajarte sobre la arena calentita, te desentiendes de esas tontas preguntas y te dices a ti mismo: «¿Qué más da?».

Una diminuta estrella fugaz atraviesa el cielo y, justo cuando estás a punto de pedir un deseo, sucede algo extraordinario: como en respuesta a tu pregunta, 5000 millones de años transcurren en un instante y, antes de que te des cuenta, ya no te encuentras en una playa, sino en el espacio exterior, flotando en el vacío. Eres capaz de ver, oír y sentir, pero tu cuerpo ha

desaparecido. Eres etéreo. Una mente pura. Y ni siquiera tienes tiempo para preguntarte qué ha sucedido, ni para gritar pidiendo ayuda, porque te encuentras en una situación de lo más peculiar.

Ante ti, a unos pocos cientos de miles de kilómetros, vuela una esfera recortada sobre un fondo de estrellas diminutas y muy distantes. Refulge con una luz de un tono anaranjado oscuro y avanza hacia ti girando sobre sí misma. No tardas mucho en comprender que lo que recubre su superficie es roca fundida y que ante ti tienes un planeta. Un planeta licuado.

Desconcertado, una pregunta te pasa por la cabeza: ¿qué monstruosa fuente de calor es capaz de licuar así un mundo entero?

Y justo entonces aparece a tu derecha una estrella inmensa. Su tamaño, comparado con el del planeta, es asombroso. Y también gira sobre sí misma. Y, además, se desplaza por el espacio. Y parece estar creciendo.

Pese a que ahora está mucho más cerca, el planeta parece una diminuta canica naranja frente a la gigantesca bola que continúa creciendo a un ritmo insospechado. En apenas un minuto ha doblado su tamaño. Ahora mismo tiene un tono rojizo y expulsa violentos y descomunales filamentos de plasma de millones de grados de temperatura, que atraviesan el espacio a una velocidad muy similar a la de la luz.

Todo cuanto ves es de una belleza monstruosa. De hecho, estás presenciando uno de los acontecimientos más violentos de cuantos se producen en el universo. Y, aun así, no se oye nada. Todo está en silencio, porque el sonido no se propaga en el vacío espacial.

Esa estrella no puede seguir creciendo a ese ritmo, piensas para tus adentros; pero continúa haciéndolo. Supera ya cualquier tamaño que pudieras haber imaginado, y el planeta licuado, incapaz de resistir las fuerzas que lo asaltan, termina por desintegrarse. La estrella ni se percata de ello: sigue creciendo, centuplica su tamaño inicial y entonces, de repente, explota y lanza toda la materia que la componía hacia el espacio exterior.

Una onda de choque atraviesa tu forma incorpórea y, después, solo queda polvo esparcido en todas direcciones. La estrella ya no existe. Se ha convertido en una nube colorida y espectacular que se expande ahora por el vacío interestelar a velocidades propias de los dioses.

Lenta, muy lentamente, te repones de tu asombro y, mientras vas entendiendo lo que ha sucedido, un extraño momento de lucidez abruma tu mente con una verdad aterradora. La estrella que has visto morir no era una estrella cualquiera. Era el Sol. Nuestro Sol. Y el planeta derretido que ha desaparecido a su paso era la Tierra.

Nuestro planeta. Tu hogar. Desaparecido.

Acabas de presenciar el final de nuestro mundo. No una especulación ni una descabellada fantasía de supuesto origen maya. El final de verdad. El que la humanidad sabe —desde pocos años antes de que nacieras, y 5000 millones de años antes de que suceda lo que acabas de ver— que ha de producirse.

Mientras intentas poner en orden esas ideas, tu mente regresa de inmediato al presente, a tu cuerpo, a la playa.

Con el pulso acelerado, te incorporas y miras a tu alrededor, como si acabases de despertarte de un sueño muy extraño. Los árboles, la arena, el mar y el viento siguen ahí. Tus amigos estarán contigo en un momento, puedes verlos a lo lejos. ¿Qué ha sucedido? ¿Te has quedado dormido? ¿Has soñado lo que viste? El desasosiego se extiende por tu cuerpo mientras empiezas a plantearte nuevas preguntas: ¿hay algo de todo eso que sea real? ¿De verdad explotará el Sol algún día? Y en ese caso, ¿qué pasará con la humanidad? ¿Puede alguien sobrevivir a semejante apocalipsis? ¿Desaparecerá todo, incluido el recuerdo mismo de nuestra existencia, en la extinción cósmica?

Contemplas de nuevo el estrellado cielo nocturno y, desesperadamente, intentas dotar de sentido a lo que acaba de suceder. En lo más profundo de tu ser sabes que no lo has soñado. Aunque tu mente ha vuelto a la playa y se ha reunido con el cuerpo, te consta que has viajado más allá de tu época hacia un futuro muy lejano, donde has presenciado algo que nadie debería ver nunca.

Inspiras y expiras lentamente para tranquilizarte y empiezas a escuchar ruidos extraños, como si el viento, las olas, los pájaros y las estrellas se hubiesen puesto juntos a susurrar una canción que solo tú puedes oír, y de repente entiendes qué es lo que están cantando. Es una advertencia y, al mismo tiempo, una invitación. De todos los futuros posibles que existen, dice su murmullo, solo una vía permitirá a la humanidad sobrevivir a la inevitable muerte del Sol y a casi cualquier otra catástrofe.

Esa vía es la del conocimiento, la de la ciencia.

Un viaje que solo está al alcance del ser humano.

Un viaje en el que estás a punto de embarcarte.

Un nuevo aullido salvaje rasga la noche, pero esta vez apenas lo percibes. Como una semilla plantada en tu mente que empieza a germinar, sientes la necesidad de descubrir lo que se sabe de tu universo.

Con humildad alzas de nuevo la vista y contemplas las estrellas con los ojos de un niño.

¿De qué está hecho el universo? ¿Qué hay cerca de la Tierra? ¿Y más allá? ¿Hasta qué distancia puede uno mirar? ¿Se sabe algo sobre la historia del universo? Es más, ¿tiene siquiera una historia?

Mientras las olas barren mansamente la orilla, mientras te preguntas si alguna vez serás capaz de penetrar esos misterios cósmicos, el titilar de las estrellas parece arrullar tu cuerpo hasta que cae en un estado de semiinconsciencia. Todavía escuchas las conversaciones de tus amigos mientras se acercan, pero curiosamente tu percepción del mundo es ahora muy diferente de la que tenías hace pocos minutos. Todo parece más rico y profundo, como si tu cuerpo y mente fuesen parte de algo mucho, mucho más grande que cualquier otro pensamiento que hayas tenido hasta ahora. Tus manos, tus piernas, tu piel... Materia... Tiempo... Espacio... Campos de fuerza entrelazados a tu alrededor...

Un velo que cubría el mundo, y del que ni siquiera tenías constancia, acaba de desvanecerse para dejar al descubierto una realidad misteriosa e inesperada. Tu mente ansia regresar junto a las estrellas, y tienes la sensación de que un viaje extraordinario está a punto de llevarte muy lejos de tu planeta natal.

2

La Luna

Si estás leyendo esto, significa que ya has viajado 5000 millones de años al futuro. Un buen comienzo, se mire como se mire. Puedes estar bastante seguro de que tu imaginación funciona, y es bueno que sea así, porque la imaginación es lo único que vas a necesitar para viajar por el espacio y el tiempo y la materia y la energía, para descubrir todo cuanto sabemos acerca de nuestra realidad desde la perspectiva de comienzos del siglo XXI.

Aunque no fuera tu intención, te has acabado asomando al destino que le espera a la humanidad o, mejor dicho, a todas las formas de vida sobre la Tierra, si no se hace nada para comprender cómo funciona la naturaleza. Para sobrevivir a la larga, para evitar que nos engulla el furor de un Sol moribundo, solo tenemos una esperanza: aprender a tomar las riendas de nuestro futuro. Y para que eso suceda tenemos que desentrañar por nuestra cuenta las leyes de la naturaleza y aprender a utilizarlas a nuestro favor. No me equivoco si digo que nos queda bastante faena por delante. En las próximas páginas, sin embargo, verás más o menos casi todo lo que sabemos hasta ahora.

Al viajar por nuestro universo descubrirás en qué consiste la gravedad, y cómo interactúan entre sí los átomos y las partículas sin llegar a tocarse nunca. Descubrirás que nuestro universo está hecho, sobre todo, de misterios, y que estos han llevado a la introducción de nuevos tipos de materia y energía.

Y luego, una vez que hayas vis todo lo que se conoce, saltarás a lo desconocido y verás en qué trabajan algunos de los más brillantes físicos teóricos de la actualidad para explicar las extrañísimas realidades de las que al parecer formamos parte. Se hablará de universos paralelos, multiversos y dimensiones extra. Después de eso, probablemente en tus ojos refulgirá el

brillo del conocimiento y la sabiduría que la humanidad lleva milenios reuniendo y puliendo. Eso sí, debes estar preparado para ello. Los descubrimientos de las últimas décadas han cambiado todo lo que considerábamos que era cierto: nuestro universo no solo es inimaginablemente más extenso de lo que creíamos, sino que también es inmensamente más hermoso de lo que ninguno de nuestros antepasados supuso jamás. Y ya que estamos, ahí va otra buena noticia: haber sido capaces de deducir tantas cosas nos hace a los humanos diferentes de todas las formas de vida que han pasado por la Tierra. Y eso no es malo, porque la mayoría de las formas de vida que ha conocido el planeta se han extinguido. Los dinosaurios dominaron la superficie terrestre durante unos 200 millones de años, mientras que nosotros no sumamos más que unos pocos centenares de milenios. Los dinosaurios tuvieron tiempo de sobra para analizar su entorno e inferir unas cuantas cosas. No lo hicieron, y así les fue. Hoy, los humanos tienen al menos alguna esperanza de detectar la amenaza de un asteroide con la suficiente anticipación como para intentar desviarlo. Es decir, tenemos poderes que ellos no tenían. Puede que no sea justo expresarlo en estos términos, pero sabiendo lo que conocemos ahora se puede relacionar la extinción de los dinosaurios con su desconocimiento de la física teórica.

Sin embargo, tú de momento sigues en la playa y tienes todavía muy presente el recuerdo del Sol moribundo. Aún no sabes gran cosa y, si somos sinceros, los puntitos titilantes que tachonan la noche parecen completamente ajenos a tu existencia. La vida y la muerte de las especies terrestres no les afectan en absoluto. Parece que el tiempo, en el espacio exterior, funciona en escalas que tu cuerpo no es capaz de asimilar. Para esos dioses distantes y relucientes, el conjunto de la existencia de una especie en la Tierra dura apenas lo que un chasquido con los dedos...

Hace trescientos años, uno de los científicos más famosos y eminentes de cuantos han vivido —Isaac Newton, el hombre que desde la Universidad de Cambridge nos trajo la gravedad— pensaba ya en estos términos a propósito del tiempo: para él, existía el tiempo de los humanos, que todos percibimos y que medimos con nuestros relojes, y luego estaba el tiempo de Dios, que es instantáneo y no fluye. Desde el punto de vista del Dios de Newton, la línea infinita del tiempo humano, que se extiende hacia atrás y hacia delante hasta el infinito, no es más que un instante. Puede verlo todo en todo momento.

No obstante, tú no eres Dios, y mientras observas las estrellas y una amiga te sirve una bebida, la inmensidad de la tarea a la que debes hacer frente empieza a parecerte abrumadora. Todo está demasiado lejos, y es demasiado grande, y demasiado extraño... ¿Por dónde empezar? No eres un físico teórico... pero tampoco eres de los que se rinden sin más. Tienes ojos, y eres de natural curioso, así que te tumbas en la arena y empiezas a concentrarte en lo que puedes ver.

El cielo es, en su mayor parte, oscuridad.

Y hay estrellas.

Y entre una estrella y otra eres capaz de percibir a simple vista una tenue franja que reluce muy débilmente con una luz blanquecina.

Sea esa luz lo que sea, sabes que se conoce esa franja como la Vía Láctea. Su anchura da la impresión de ser unas diez veces la de la luna llena. De niño la miraste muchas veces, pero últimamente no la has contemplado tanto. Ahora que te fijas en ella, te parece tan evidente que piensas que tus antepasados tienen que haberla conocido desde siempre. No te equivocas. Resulta irónico que ahora, tras tantos siglos durante los cuales hombres y mujeres han debatido acerca de su naturaleza, sepamos por fin de qué se trata... Justo cuando la contaminación lumínica hace que sea invisible en la mayoría de los espacios habitados.

Desde tu isla tropical, sin embargo, su presencia es abrumadora y, a medida que la Tierra gira y la noche avanza, la Vía Láctea se mueve por el cielo de este a oeste, como el Sol durante el día.

La posibilidad de que el futuro de la humanidad esté ahí fuera, en algún lugar más allá del firmamento terrestre, empieza a aparecerse ante ti como una posibilidad real, que además resulta fascinante. Te concentras y piensas si es posible ver todo cuanto hay en el universo a simple vista. Pero luego niegas con la cabeza. Sabes que el Sol, la Luna, algunos planetas como Venus, Marte o Júpiter, varios cientos de estrellas^[1] y esa mortecina cinta de polvillo blancuzco que llamamos la Vía Láctea no es el conjunto de cuanto existe. Hay misterios ocultos allí arriba, invisibles a nuestros ojos, más allá de las estrellas, misterios que esperan a ser desentrañados... Si pudieras explorarlo todo, ¿qué harías? Empezarías en las inmediaciones de la Tierra, claro, pero luego... saldrías disparado e irías tan lejos como fuera posible. Y de repente... ¡tu mente obedece!

Pese a que parece increíble, tu mente empieza a alejarse de tu cuerpo y asciende hacia las estrellas.

Te invade el vértigo a medida que tu cuerpo, y la isla sobre la que está tumbado, se alejan rápidamente de ti. Tu mente, que ha adoptado etéreamente tu silueta, asciende hacia el este. No tienes ni idea de cómo puede ser posible, pero aquí estás, a una altitud superior a la de la más alta de las montañas. Ante ti aparece una Luna muy roja, suspendida en un horizonte muy lejano, y en menos tiempo del que se tarda en decirlo te encuentras fuera de la atmósfera terrestre, mientras recorres a toda velocidad los 380 000 kilómetros que separan nuestro planeta de nuestro único satélite natural. Desde el espacio, la Luna parece tan blanca como el Sol.

Tu viaje a través del conocimiento acaba de empezar.

Has llegado a la Luna, algo que solo una docena de humanos ha conseguido antes que tú. Tu cuerpo espectral camina sobre su superficie. La Tierra ha desaparecido tras el horizonte lunar. Estás en lo que se ha dado en llamar su cara oscura, la que nunca ve la Tierra. No hay cielos azules ni sopla el viento, y no solo ves muchas más estrellas encima de tu cabeza de las que jamás podrías ver desde cualquier punto de nuestro planeta: además, ninguna parpadea. Y eso se debe a que la Luna no tiene atmósfera. Allí, el espacio comienza un milímetro por encima de su superficie. No hay climatología que borre las cicatrices que surcan el terreno. Por todas partes se ven cráteres, recuerdos congelados en el tiempo de lo que impactó en el pasado contra este suelo baldío.

Mientras emprendes el camino hacia la cara de la Luna visible desde la Tierra, la historia de su génesis aparece como por arte de magia en tu inquisitiva mente y tú, anonadado, solo puedes contemplar el suelo bajo tus pies.

¡Cuánta violencia!

Hace aproximadamente 4000 millones de años, nuestro entonces joven planeta sufrió el impacto de otro planeta del tamaño de Marte que arrancó un trozo considerable de su masa y la lanzó al espacio. A lo largo de los milenios siguientes, los escombros de aquella colisión fueron compactándose en una única esfera que orbitaba en torno a nuestro mundo. El resultado de ese proceso fue la Luna sobre la que ahora estás plantado.

Si se produjese hoy una colisión de ese calibre sería más que suficiente para erradicar toda forma de vida de la Tierra. En aquel entonces, sin

embargo, nuestra Tierra estaba vacía, y se hace raro pensar que sin aquella catastrófica colisión no tendríamos una Luna que iluminase la noche, ni mareas significativas, y la vida, tal y como la conocemos, no existiría en el planeta. Cuando el azul de la Tierra aparece ante ti en el horizonte lunar, comprendes que los acontecimientos catastróficos a escala cósmica pueden ser para bien, y no solo una calamidad.

Visto desde aquí, tu planeta natal tiene el tamaño de cuatro lunas llenas puestas una al lado de la otra. Una perla azul recortada sobre un fondo negro y salpicado de estrellas.

Comprobar la verdadera magnitud de nuestro mundo en el contexto espacial es, y será siempre, un ejercicio de humildad.

Mientras caminas un ratito más por la superficie lunar y ves nuestro planeta asomar en el horizonte, tienes muy claro que harás bien en no fiarte de la calma aparente, aunque todo parezca tranquilo y seguro. Aquí, el tiempo tiene un significado distinto: los eones continúan con su avance y la violencia del universo parece inevitable. Los cráteres que salpican la superficie de la Luna son un buen recordatorio de ello. Cientos de miles de peñascos del tamaño de montañas deben de haberla azotado a lo largo de la eternidad. Y también la Tierra tiene que haber recibido impactos parecidos, pero las heridas de nuestro planeta han sanado porque nuestro mundo está vivo y oculta su pasado bajo los cambios constantes que se producen en su suelo.

Aun así, en un universo semejante, presientes de manera repentina que tu mundo natal, pese a toda su capacidad de recuperación, es frágil, casi indefenso...

Casi.

Pero no del todo. Ahora nos tiene a nosotros. Te tiene a ti.

Colisiones como la que produjo la aparición de la Luna son, en términos generales, cosa del pasado. Hoy no hay planetas desbocados que amenacen nuestro mundo, solo asteroides sueltos y cometas, y, en parte, la Luna nos protege de esas amenazas, y también nos sirve de escudo. El peligro, sin embargo, acecha por doquier y, mientras observas la azulada esfera de la Tierra suspendida en la oscuridad del espacio, a tu espalda aparece una bola de luz extraordinariamente brillante.

Te das la vuelta y topas con una estrella, el objeto más luminoso y violento de cuantos pueden encontrarse cerca de nuestro planeta natal.

Lo hemos bautizado con el nombre de Sol.

Se encuentra a 150 millones de kilómetros de nuestro mundo.

Es la fuente de toda nuestra energía.

Y a medida que tu mente se ve obnubilada por la ingente luz que emana de este extraordinario farol cósmico, dejas atrás la Luna y empiezas a volar hacia él, hacia nuestra estrella local, el Sol, para descubrir por qué resplandece.

3

El Sol

Si el ser humano fuera capaz, de una manera u otra, de captar toda la energía que el Sol irradia en un segundo, sería suficiente para sostener las necesidades de todo el planeta durante los próximos 500 millones de años.

A medida que te acercas volando a nuestro astro, sin embargo, te das cuenta de que el Sol no es tan grande como el que viste 5000 millones de años en el futuro, cuando llegaba a su fin. Aun así, es muy grande. Para ponerlo en perspectiva, si el Sol fuera del tamaño de una sandía grandota, la Tierra estaría a unos 43 metros de distancia y necesitarías una lupa para verla.

Has llegado a unos pocos miles de kilómetros de la superficie solar. A tu espalda, la Tierra apenas se distingue como un puntito luminoso. Frente a ti, el Sol ocupa la mitad del firmamento. Por todas partes estallan burbujas de plasma. Miles de millones de toneladas de materia a temperaturas inimaginables salen despedidas ante tus ojos y atraviesan tu cuerpo etéreo, mientras sobre el campo magnético del Sol aparecen gigantescos bucles aparentemente aleatorios. Es una escena extraordinaria, cuando menos, y, enardecido por tanta energía, te preguntas qué es lo que le falta a la Tierra para ser tan especial como el Sol. ¿Qué hace de una estrella una estrella? ¿De dónde nace su energía? ¿Y por qué diantres tiene que extinguirse antes o después?

Para dar respuesta a estas preguntas, te diriges al lugar más inhóspito que pueda imaginarse: el centro del Sol, a más de medio millón de kilómetros bajo su superficie. A modo de comparación, la distancia que separa la corteza terrestre del núcleo es de 6500 kilómetros.

Mientras te zambulles de cabeza en este horno abrasador, recuerdas que toda la materia que respiramos, vemos, tocamos, percibimos o detectamos, incluida la materia que contiene tu cuerpo, está hecha de átomos. Los átomos son las piezas con las que se construye todo. Son los ladrillos de Lego de nuestro entorno, por decirlo así. A diferencia de los Lego, sin embargo, los átomos no son rectangulares. Son más bien redondeados y consisten en un núcleo denso y con forma de balón en torno al cual giran los diminutos y lejanos electrones. Sin embargo, los átomos sí que se parecen a las piezas de Lego en que es posible clasificarlos por tamaños. El más diminuto ha sido bautizado como hidrógeno. Al segundo de menor tamaño se le llama helio. El conjunto de esos dos átomos constituye aproximadamente el 98 por ciento de toda la materia de la que tenemos noticia en el universo conocido. Es mucho, desde luego, pero también una proporción menor de lo que fue en el pasado. Se cree que hace unos 13 800 millones de años esos dos átomos sumaban casi el ciento por ciento de toda la materia conocida. El nitrógeno, el carbono, el oxígeno y la plata son ejemplos de átomos que existen hoy y no son ni hidrógeno ni helio. Es decir, tienen que haber aparecido en una fecha posterior. ¿Cómo? Es lo que vas a descubrir ahora.

Te zambulles más y más en el interior de Sol: las temperaturas aumentan hasta alcanzar cotas inimaginables. Una vez en el núcleo, nos ponemos ya en los 16 millones de grados centígrados. Puede que más. Y aquí abundan los átomos de hidrógeno por todas partes, aunque la energía circundante los ha despojado de todo: han perdido sus electrones y solo perviven los núcleos desnudos. La inmensa presión y el peso que la estrella ejerce sobre su propio centro hacen que esos núcleos estén apretadísimos y no tengan apenas espacio ni libertad para moverse. En lugar de ello, se ven obligados a fundirse unos con otros para formar núcleos de mayor tamaño. Lo ves suceder ante tus propios ojos: una *reacción de fusión termonuclear*, es decir, la creación de núcleos atómicos grandes a partir de otros más pequeños.

Una vez formados, y a medida que se alejan de la caldera en la que nacieron, esos pesados núcleos van combinándose con los electrones sueltos y libres que les fueron arrebatados a los núcleos de hidrógeno y forman átomos nuevos y más pesados: nitrógeno, carbono, oxígeno, plata...

Para que se produzca una reacción de fusión termonuclear (es decir, la formación de átomos grandes a partir de otros más pequeños) es necesaria una cantidad desorbitada de energía, que en este caso la aporta la aplastante gravedad del Sol, que lo atrae todo hacia su núcleo y lo comprime hasta límites insólitos. Una reacción semejante no puede producirse de manera

natural en la Tierra, ni en su superficie ni en su interior. Nuestro planeta es demasiado pequeño y no lo suficientemente denso, por lo que su gravedad no es capaz de hacer que el núcleo alcance las temperaturas y presiones necesarias para desencadenar una reacción semejante. Esa es, por definición, la principal diferencia entre una estrella y un planeta. Ambos son objetos cósmicos aproximadamente esféricos, pero los planetas son, en términos generales, cuerpos pequeños con núcleos rocosos que en ocasiones están rodeados de gases. Las estrellas, en cambio, pueden considerarse como unas inmensas centrales de fusión termonuclear. Su energía gravitatoria es tal que por su misma naturaleza están obligadas a forjar materia en su interior. Todos los átomos pesados que componen la Tierra, todos los átomos necesarios para la vida, los átomos mismos que componen tu cuerpo, fueron forjados en lo más profundo de una estrella. Cuando respiras, es lo que inhalas. Cuando tocas tu piel, o la de otra persona, estás tocando polvo de estrellas. Te preguntabas antes por qué las estrellas como el Sol tienen que morir y explotar al final de su existencia, y aquí tienes la respuesta: sin esos finales, solo existiría el hidrógeno y el helio. La materia de la que estamos hechos se encontraría prisionera para siempre en el interior de estrellas eternas. La Tierra no habría existido. La vida, tal y como la conocemos, nunca se habría producido.

Pensemos en ello de otra manera: dado que no estamos hechos exclusivamente de hidrógeno y helio, dado que nuestros cuerpos y la Tierra y todo cuanto nos rodea contiene carbono, oxígeno y otros muchos átomos, sabemos que nuestro Sol es una estrella de segunda o incluso de tercera generación. Una o dos generaciones de estrellas tuvieron que explotar para que su polvo se convirtiera en el Sol, y en la Tierra, y en nosotros. ¿Qué es lo que desencadenó su muerte? ¿Por qué están las estrellas condenadas a terminar su resplandeciente existencia con una espectacular explosión?

Una de las propiedades más asombrosas de una fusión nuclear es que, por grande que sea la cantidad de energía necesaria para que se produzca (¡el peso de todo un planeta!), la energía que libera es mucho mayor.

Puede que los motivos de esto te resulten sorprendentes, pero puesto que estás viendo ante tus ojos cómo sucede no te queda más remedio que aceptar que es cierto: cuando los núcleos de los átomos se funden uno en otro, parte de su masa desaparece. El nuevo núcleo tiene menos masa que los dos a partir de los cuales se creó. Es como si el resultado de mezclar un kilo de helado de vainilla con otro kilo del mismo helado no fuesen dos kilos de helado, sino una cantidad menor.

Eso, en la vida cotidiana, no pasa nunca. En el mundo nuclear, sin embargo, sucede constantemente. Por fortuna para nosotros, sin embargo, esa masa no se pierde. Se transforma en energía, y la famosa fórmula $E=mc^2$ de Einstein refleja la tasa de cambio.^[2]

En nuestra vida cotidiana estamos acostumbrados a que los tipos de cambio se refieran a divisas extranjeras, y no a la masa y la energía. Por eso, para ver si $E=mc^2$ es buen negocio para la naturaleza, vamos a imaginar que en el aeropuerto nos ofrecen el mismo tipo para cambiar libras esterlinas (que serían la masa inicial) por dólares estadounidenses (que serían la energía que te dan a cambio). El tipo de cambio, en este ejemplo, es c^2 : « c » sería la velocidad de la luz y « c^2 », la velocidad de la luz multiplicada por sí misma. Por una libra te darían 90 000 billones de dólares. No es un mal negocio, me parece a mí. Es más, es el mejor tipo de cambio que existe en la naturaleza.

Evidentemente, la masa que falta en cada reacción de fusión nuclear es muy pequeña. Pero en el centro del Sol hay tantos átomos fusionándose cada segundo que la energía que liberan es inmensa, y tiene que ir hacia algún sitio. Así que entonces esta sale despedida en dirección al espacio, lejos del núcleo del Sol, y en todas las formas que puede. Al final, la energía de esta fusión nuclear equilibra la gravedad que atrae todo hacia el núcleo de la estrella, lo cual estabiliza su tamaño. De no ser por ello, y si la gravedad fuera la única fuerza presente, el Sol se encogería.

La fusión nuclear emite una cantidad tremenda de luz y partículas que hacen que todo lo que las rodea se transforme en un reluciente caldo de núcleos y electrones que llamamos *plasma*.

Ese estallido de luz, calor y energía es lo que hace que las estrellas brillen.

El Sol, al ser una estrella, no es una enorme bola de fuego: el fuego necesita oxígeno y, aunque el Sol genera un poco de oxígeno junto con otros elementos pesados, en el espacio exterior no hay oxígeno libre en cantidades suficientes para alimentar una llama. Por mucho que rascásemos una cerilla en el espacio, nunca prendería. El Sol, al igual que el resto de estrellas del firmamento, no es más que una reluciente bola de plasma, una tórrida mezcla de electrones, de átomos despojados de algunos de sus electrones (llamados iones) y de átomos a los que se les han arrebatado todos sus electrones; núcleos pelados, vaya.

Mientras haya un número suficiente de esos minúsculos núcleos comprimidos en el centro del Sol, su gravedad y la energía resultante de la fusión se mantendrán equilibradas. Tenemos mucha suerte de vivir cerca de una estrella en un estado semejante.

En realidad, no tiene nada que ver con la suerte.

Si nuestro Sol no se encontrase en ese estado, nosotros no estaríamos aquí.

Y como ya sabes ahora, el Sol no se mantendrá en ese estado de equilibrio eternamente: el núcleo de nuestra estrella agotará algún día su combustible atómico y, entonces, cesará el impulso hacia el exterior que se encuentra en competencia con la gravedad. Entonces se impondrá esta última, que desencadenará la secuencia final de la vida de nuestra estrella: el Sol se encogerá y ganará densidad hasta que se desate una nueva reacción de fusión nuclear, pero en esta ocasión alejada del núcleo, más cerca de la superficie. Esta renacida reacción no equilibrará la gravedad, sino que la superará, y la superficie del Sol se verá impelida hacia el exterior, con lo que el astro crecerá. Es algo que ya viste en tu viaje al futuro. Un arrebató final de energía anunciará, por último, la muerte que presenciaste y esparcirá por el espacio todos los átomos que el Sol ha forjado a lo largo de su existencia al tiempo que crea algunos más, los más pesados de todos, como, por ejemplo, los de oro. Con el tiempo, esos átomos se combinarán con los restos de otras estrellas moribundas próximas para formar inmensas nubes de polvo de estrellas que, quizá, plantarán las semillas de nuevos mundos en un lejano futuro.

La forma que tienen los científicos de estimar cuándo se producirá esa explosión es calculando la cantidad de hidrógeno que queda en el núcleo de la estrella, y los resultados apuntan a que el Sol estallará en aproximadamente 5000 millones de años; en jueves, para ser precisos, con un margen de error de tres días.

4

Nuestra familia cósmica

Lo que has descubierto del Sol hasta ahora te permite conocerlo mejor que cualquier humano que viviese antes de mediados del siglo xx. Toda la luz que baña tu cuerpo día tras día procede de átomos forjados en el corazón de nuestra estrella, de partes de su masa transformadas en energía. Sin embargo, la Tierra no es el único objeto celeste que aprovecha la energía del Sol.

En un abrir y cerrar de ojos, tu mente regresa a la superficie efervescente y abrasadora del Sol y miras a tu alrededor como un halcón. Ocho puntos brillantes se mueven frente a un fondo aparentemente fijo de estrellas lejanas. Esos puntos son planetas, esferas rellenas de materia que son demasiado pequeñas para soñar siquiera que un día se convertirán en una estrella. Cuatro de ellos, los más cercanos al Sol, parecen diminutos mundos rocosos. Los cuatro más alejados están formados principalmente de gas. Siguen siendo minúsculos comparados con el Sol, pero son gigantes respecto a la Tierra, el mayor de los cuatro pequeños mundos rocosos. A pesar de todo —y aunque todos nacieron de la misma nube de polvo de estrellas extinguidas hace mucho—, ninguno de esos mundos, con excepción de la Tierra, y tampoco ninguno de sus cientos de satélites ofrecen un refugio potencial para el futuro de la humanidad. Todos permanecen sometidos a la gravedad del Sol y todos desaparecerán cuando nuestra estrella termine explotando. Si hay algún refugio posible, tiene que estar más alejado todavía.

Con una cierta alarma, tu mente se dispara tan lejos como puede para echar un vistazo a lo que hay más allá de la esfera de influencia del Sol. Por el camino, visitarás a los primos lejanos de nuestro planeta, los gigantes de nuestra familia cósmica.

La distancia que te separa ahora del Sol es tres veces la que existe entre la Tierra y nuestra estrella. Ya has dejado atrás Mercurio, Venus, la Tierra y Marte, los cuatro mundos rocosos más cercanos al Sol. Vista desde aquí, nuestra estrella es un punto brillante algo más pequeño que una moneda de un céntimo sostenida en alto a un brazo de distancia de los ojos. Si la Tierra estuviera aquí, un mediodía típico de mediados de julio, el día más caluroso del año, por ejemplo, sería más frío que el invierno más frío de la Antártida.^[3]

Cuanto más te alejas del Sol, más escasea su luz.

Pasas como un bólido junto a unas rocas, restos de los días lejanos en los que se formó nuestro planeta. La mayoría son asteroides amorfos que, en su conjunto, forman lo que los astrónomos denominan el *cinturón de asteroides*, un enorme anillo de rocas que rodea al Sol y separa los cuatro pequeños planetas terrestres de un mundo de gigantes. Las rocas están bastante separadas entre sí y, mientras vuelas a través del cinturón, te das cuenta de que es muy poco probable que choques contra una de ellas. Muchos satélites de fabricación humana lo han atravesado sin recibir un rasguño.

Dejas atrás el cinturón y vuelas junto a Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, los gigantes gaseosos, todos ellos planetas enormes con unos núcleos rocosos relativamente diminutos ocultos en la profundidad de unas atmósferas enormes y tumultuosas. Todos estos planetas parecen haber sido dotados de un magnífico sistema de anillos, aunque el de Saturno supera con creces, en tamaño y belleza, a los de los demás planetas juntos.

Vuelas junto a todos ellos y los contemplas con el respeto que merecen esos mundos gigantescos, incluso aunque no sean adecuados para la vida.

Más allá de Neptuno, el más alejado de los planetas que orbitan alrededor del Sol, no esperabas encontrar nada, pero te equivocabas. Hay otro cinturón de bolas de nieve sucias de todas las formas y tamaños, probablemente más restos del nacimiento de nuestro sistema solar, cuando sus miembros actuales se formaron al agruparse el polvo resultante de las explosiones de estrellas que se produjeron mucho tiempo atrás. Este cinturón se denomina *cinturón de Kuiper*. Desde aquí, el Sol es del tamaño de la cabeza de un alfiler, como cualquier otra estrella, y aunque a estos lugares remotos no parece llegar mucho calor, sí se produce algo de acción.

De vez en cuando, y debido a colisiones o a perturbaciones de otro tipo, una o más de estas bolas de nieve sucias son expulsadas de su tranquila y lejana órbita alrededor del Sol. Al verse impulsada hacia nuestra estrella, alcanza climas progresivamente más cálidos y empieza a derretirse a medida que gana velocidad en sentido opuesto al de la radiación solar, y deja tras de

sí largos rastros de rocas pequeñas y heladas que brillan en la oscuridad. Se convierte así en una de esas maravillas celestes que llamamos *cometas*. En noviembre de 2014, la robusta sonda Philae de la Agencia Espacial Europea aterrizó en uno de ellos para estudiar su superficie. Rosetta, la nave que había llevado a la sonda hasta allí, giraba en órbita a su alrededor mientras se aproximaba al Sol y se alejaba luego para observar cómo se convierten en gas sus capas exteriores...

El pobre Plutón, que recientemente perdió su título de planeta y fue reclasificado como planeta enano, también forma parte de ese cinturón helado, junto a (por lo menos) otros dos planetas enanos llamados Haumea y Makemake. Es curioso pensar que Plutón, junto con su satélite Caronte, está tan alejado del Sol y tiene que recorrer una distancia tan inmensa para recorrer una órbita completa a su alrededor, que transcurrió menos de uno de sus propios años entre su descubrimiento y su bautismo como planeta y el momento en el que fue desprovisto del título, setenta y seis años terráqueos más tarde. En realidad, los astrónomos tardaron décadas en comprobar que su tamaño apenas alcanzaba la cuarta parte del de nuestra Luna. Por supuesto, al Plutón de color marrón fangoso junto al cual vuelas en este instante no le ha afectado lo más mínimo que lo hayamos rebautizado, y no tardas en dejarlo atrás mientras te alejas todavía más de la protección de nuestra brillante estrella.^[4] Más planetas enanos y cometas se cruzan en tu camino, e incluso ves mundos congelados que todavía no ha descubierto nadie, pero tu atención se centra de inmediato en una esfera gigante que engloba todo lo que has visto hasta ahora.

Todos los planetas, planetas enanos, asteroides y cometas que has visto se extienden sobre un disco más o menos plano en cuyo centro brilla el Sol. Sin embargo, lo que estás viendo en este momento no pertenece a ese disco. Una reserva de billones y billones de cometas potenciales forma una colosal nube esférica que parece ocupar todo el espacio que separa al Sol del reino de otras estrellas. Esta reserva se llama la *nube de Oort*.

Su tamaño es abrumador.

Delimita las fronteras del reino de nuestra estrella, que contiene a todos los miembros de nuestra familia cósmica, una familia llamada *sistema solar*.

Más allá, te adentras en territorios inexplorados y te diriges a la que crees que es la estrella más cercana a la nuestra. Se descubrió en 1915, hace un siglo, justo cuando empezábamos a entender nuestro universo. Se llama *Próxima Centauri*.

5

Más allá del Sol

Aunque tu cuerpo permanece en una playa de algún lugar de nuestro planeta, tu mente se encuentra tan alejada de la Tierra como lo ha estado el objeto de fabricación humana que más lejos ha viajado jamás.^[5] Tras salvar el límite exterior de la nube de Oort, abandonaste el sistema solar y penetraste en el reino de otra estrella. Al cruzar esa línea borrosa, y como si quisieran darte a entender lo que realmente significaba ese límite, viste que algunos de los cometas más alejados del sistema solar cambiaban de órbita: su trayectoria pasaba de trazar una curva remota alrededor del Sol a trazar una curva igualmente remota alrededor de otra estrella, hacia la cual te diriges ahora: Próxima Centauri.

Próxima Centauri pertenece a una familia de estrellas llamadas enanas rojas. Es mucho más pequeña que el Sol (su tamaño y su masa son aproximadamente siete veces menores) y es de un tono bastante rojizo, de donde deriva su nombre. Las enanas rojas son muy comunes, hasta el punto de que los científicos creen que la mayoría de las estrellas del cielo son de ese tipo, pese a que son demasiado tenues para distinguirlos a simple vista.

A medida que te vas acercando a ella, aprecias constantes cambios violentos en su brillo y la ves expulsar enormes cantidades de materia incandescente de un modo bastante errático.

Pero ¿hay algún planeta alrededor de esta enana roja tan furiosa? No ves ninguno.

En cierto modo es una lástima porque, aunque sería difícil vivir cómodamente en un planeta que orbitase alrededor de Próxima, si una civilización lograra crecer en sus dominios podría planear las cosas a muy pero que muy largo plazo. Cuando el Sol, nuestra estrella, estalle, Próxima no habrá cambiado lo más mínimo. Por lo que sabemos, brillará como ahora

durante el equivalente a 300 veces la edad actual del universo. Un período de tiempo muy largo, se mire como se mire.

Al ser Próxima más pequeña que el Sol, los diminutos núcleos atómicos que la conforman se fusionan para formar núcleos mayores a un ritmo mucho más reducido. En el mundo de las estrellas, el tamaño sí importa: cuanto mayor es la estrella, más corta es su esperanza de vida... Y para los planetas que las orbitan, la distancia es la clave. Para tener agua en estado líquido en su superficie (y poder albergar vida tal y como la conocemos), un planeta no debe ser ni demasiado frío ni demasiado cálido. Para que esto ocurra, no puede estar ni excesivamente cerca ni excesivamente lejos de la estrella alrededor de la cual órbita. La zona alrededor de una estrella que permite la presencia de agua líquida en la superficie de un planeta se llama *zona de habitabilidad*. ¿Qué pasaría entonces si encontrásemos un planeta similar a la Tierra que orbitase alrededor de otra enana roja a la distancia precisa? Sería un mundo parecido a nuestro acogedor planeta y, básicamente, duraría para siempre...

Te sientes algo culpable por haber tenido esa idea, así que te vuelves hacia el sistema solar y a tu planeta natal, mientras esperas que el Sol brillará con más fuerza que el resto de los puntos brillantes del cielo, pero esto no es ni mucho menos lo que sucede, y de pronto tomas conciencia de las monstruosas dimensiones de las distancias cósmicas.

Te preguntas cuánto tardaría en llegar una señal a la Tierra si de verdad fueras un viajero espacial, en vez de un ente puramente mental.

Si estuvieras equipado con un teléfono móvil interestelar, habrías podido llamar a tus amigos desde cada una de las paradas que has realizado para compartir tus descubrimientos con ellos. Los teléfonos móviles convierten tu voz en una señal que viaja a la velocidad de la luz, por lo que la comunicación en la Tierra parece instantánea. Sin embargo, en el espacio exterior, las distancias suelen ser demasiado grandes, y todo deja de parecer instantáneo. La luz tarda un segundo en alcanzar la Tierra desde la Luna y otro más en regresar. En caso de que le hubieras preguntado a algún amigo de la Tierra si podía verte con unos prismáticos cuando estabas en el satélite, habrías recibido su respuesta dos segundos más tarde.

Desde el Sol, la cosa habría empeorado. La luz tarda unos ocho minutos y veinte segundos en recorrer la distancia que lo separa de la Tierra. Las conversaciones empezarían a complicarse, ya que habría que esperar dieciséis

minutos entre una pregunta y su respuesta, pero el Sol sigue estando a tiro de piedra en términos cósmicos. Si marcaras un número de teléfono desde donde te encuentras, cerca de Próxima Centauri, la llamada se transformaría en una señal que haría sonar un teléfono de la Tierra dentro de unos cuatro años y dos meses. Si hicieras una pregunta, tardarías como mínimo ocho años y cuatro meses en obtener respuesta.

Tan solo has llegado a la segunda estrella más cercana a la Tierra después del Sol, pero tienes la sensación de estar muy lejos de casa, así que buscas algo que te permita orientarte para no perderte.

Recuerdas la hermosa Vía Láctea que viste desde la playa de la isla tropical y miras a tu alrededor para buscar la posición actual de esa nebulosa blanca de luz. Para tu gran sorpresa, compruebas de inmediato que ya no parece una gruesa línea blanca, sino más bien un anillo inclinado, con unas partes más brillantes que otras, y que te encuentras en algún lugar de su interior. Entiendes ahora que si desde la Tierra te parecía una franja blanca era porque la Tierra misma, bajo tus pies, ocultaba su mayor parte.

Sin pensártelo dos veces, y al no encontrar ningún planeta alrededor de Próxima Centauri, te diriges directamente a la parte más brillante de la Vía Láctea.

Todavía no lo sabes, pero viajas hacia el centro de una congregación de unos 300 000 millones de estrellas. Una agrupación que denominamos *galaxia*.

6

Un monstruo cósmico

Si te paras a pensarlo, en el centro de una agrupación de 300 000 millones de estrellas tiene que haber algo peculiar. Fíjate en la Tierra. Su centro es el lugar más denso, caliente e inhóspito que existe (en la Tierra). Fíjate en el sistema solar. En su centro se encuentra el Sol, el lugar más denso, caliente e inhóspito que existe (en el sistema solar). Puede que eso no demuestre nada, pero apunta a que probablemente en el centro de una galaxia también debe estar pasando algo grande. Algo grande de verdad.

Vuelas junto a decenas de millones de estrellas a la velocidad del pensamiento. Algunas son mucho más grandes que el Sol y están condenadas a una vida todavía más corta que la de nuestra estrella, mientras que otras son minúsculas y están en condiciones de seguir brillando durante un tiempo que escapa a la imaginación. También vuelas a través de guarderías estelares, nubes de polvo hechas de los restos de cientos de estrellas que han estallado, y de cementerios estelares, que esperan el momento de fusionarse y convertirse en guarderías estelares. Aquí estás, cerca del centro galáctico, sea lo que sea eso, y de pronto te detienes.

Hay otro anillo justo delante de ti. Es un anillo rotatorio muy colorido, hecho de materia dispersa. Al mirarlo más de cerca, observas que está hecho de gas y de miles de millones de rocas y cometas que se mueven alrededor de una fuente de luz brillante y enérgica en forma de dónut.

¿Qué está pasando aquí? ¿Qué son todas estas rocas y fragmentos helados que se mueven a su alrededor? Miras un poco más lejos y lo que ves parece imposible... Alrededor del anillo no solo orbitan rocas perdidas: también hay estrellas. Estrellas enteras. No son planetas. Las propias estrellas. Y se mueven rápido.

Hasta el año 2015, una de ellas era el objeto más rápido conocido en todo el universo. Se llama S_2 o S_{0-2} . Desde la Tierra, los científicos la han observado completar una órbita alrededor del dónut en unos quince años y medio. Teniendo en cuenta la distancia de la que hablamos, eso significa que se mueve a la asombrosa velocidad de 17,7 millones de kilómetros por hora. ¿Cómo es posible? ¿Qué tipo de bestia cuenta con un poder gravitatorio lo bastante potente para mantener cerca de ella a un bólido como ese? ¿Es posible siquiera generar una fuerza semejante?

Imagina una canica y una ensaladera.

Si haces girar la canica demasiado despacio por la cara interior de la ensaladera, caerá al fondo de inmediato. Si la haces girar demasiado rápido, trepará en espiral por la pared interior del cuenco, saldrá despedida y te romperá algo en la cocina. Sin embargo, si la haces girar a la velocidad adecuada, trazará círculos durante un rato a cierta distancia entre el fondo y la parte superior de la ensaladera, sin salir disparada ni caerse, hasta que la fricción transforme una parte excesiva de la velocidad en calor y la ralentice.

Ahora imagina que esa canica es la estrella súper rápida S_2 y que hay un cuenco invisible que la mantiene en órbita alrededor de lo que sea que haya en el interior del dónut brillante. Como en el espacio no existe la fricción, no hay ningún motivo que obligue a la estrella a perder energía.^[6] Basándonos en la velocidad de la S_2 , podemos imaginar la forma del cuenco y, de ahí, la masa que yace en el fondo.

Los científicos han realizado muchas veces estos cálculos, bastante claros, y siempre han obtenido una respuesta increíble: para crear un campo gravitatorio con la fuerza adecuada para que la S_2 no termine siendo proyectada al espacio exterior, se precisa la masa de más de 4 millones de soles. Una estrella enorme, sin duda.

Sin embargo, hay un problema: no hay ninguna estrella visible en el interior de la órbita de la S_2 . Puedes buscarla tanto como quieras: no la encontrarás.

Los científicos de la Tierra han ideado telescopios capaces de detectar un tipo concreto de luz invisible a nuestros ojos, la luz ultravioleta, o, para obtener unas vistas más impresionantes, la segunda luz con más energía que conocemos, los rayos X, con el fin de intentar ver qué es ese objeto con una masa de 4 millones de soles que evita que la S_2 salga disparada. Este tipo de telescopio sigue sin permitirles ver ningún objeto, pero sí que observan

enérgicos estallidos de luz que se originan en una ubicación minúscula dentro del anillo. Lo que impide que la S_2 salga disparada no solo no es una estrella, sino que no se acerca ni por asomo al tamaño que debería tener. De hecho, los científicos solo tienen una explicación para lo que puede esconderse ahí: un agujero negro. Un agujero negro supermasivo.

Los científicos lo han denominado *Sagitario A** (se pronuncia «A Estrella»), pero no pueden estudiarlo con claridad desde la Tierra porque sus alrededores están ocultos por todas las estrellas, el polvo y el gas que se interponen entre su ubicación y nuestro planeta.^[7]

Estás justo a su lado, así que, si te preguntas qué proyecta esos estallidos de luz energética que detectan los telescopios desde la Tierra, estás a punto de descubrirlo.

Como cabría esperar, no te sientes muy seguro justo al lado de un monstruo invisible. ¿Quién sabe de lo que es capaz un agujero negro? ¿Podría llegar a tragarse tu mente e impedir que volviera a reunirse con tu cuerpo? ¿Y si se queda ahí atascada, condenada a vagar lejos de todo lo que conoces? ¿Y si en su interior hay un túnel oculto, una puerta que conduce a otro universo, a otra realidad, como puede que hayas oído decir a alguien alguna vez?

Indeciso, pierdes la mirada entre los miles de millones de partículas de polvo y de otras rocas pequeñas que producen la luz brillante.

Menos de un minuto más tarde, un enorme asteroide amorfo pasa volando a tu lado a un millón de kilómetros por hora. Lo observas con atención. Mientras cruza el anillo a toda velocidad, ves cómo se derrite y se convierte en minúsculas motas de materia fundida, abrasado por la fricción del polvo que forma el anillo. Del mismo modo que una roca pequeña puede convertirse en una estrella fugaz al penetrar en la atmósfera de la Tierra y desintegrarse por completo sin llegar a alcanzar la superficie de nuestro planeta, el asteroide desaparece mucho antes de alcanzar lo que sea que haya en el interior del dónut.

Das media vuelta en busca de algo más de acción y ves que lo que se te acerca no es solo un gran trozo de roca. Es una estrella. Una estrella grande, brillante y furiosa. Como la S_2 . Pero incluso más grande. ¿Arderá también? ¿Conseguirá cruzar? La ves hundirse hacia su destino y volar a través del dónut en una trayectoria angulada. Entra en el anillo y la pierdes de tu vista, pero reaparece enseguida, después de completar media órbita, y parece distorsionada de una manera peculiar, como si un espejismo provocado por una fuerza extraña la obligase a cambiar de forma. Prosigue el vuelo descendente. Da la impresión de que unas fuerzas tremendas actúan sobre

ella. De la superficie de la estrella se desprenden pedazos del tamaño de planetas. Intentas mantener la calma y te repites que no hay nada que temer pero, sin poder evitarlo, sientes los hombros cansados y pesados, y te preparas para un desastre de dimensiones épicas...

Hasta ahora eras etéreo y ajeno a las fuerzas que gobiernan el universo, pero eso se acabó. Lastrado por el peso de los pensamientos complejos, pasas a estar sujeto a la gravedad y estás en presencia de su señor. Contra tu voluntad, te ves arrastrado a su interior, absorbido, como si te deslizases por una pendiente invisible pero resbaladiza. Cruzas el anillo de materia calentada y te acercas a la estrella, que sigue cayendo y que ahora está destrozada y estalla formando un chorro llameante de plasma incandescente que desciende en espiral, y te arrastra con ella, hacia el agujero negro todavía invisible.

Huelga decir que tus temores están justificados. Cientos y cientos de miles de millones de toneladas de plasma se hunden contigo. El corazón te palpita como loco mientras sigues descendiendo en espiral, cada vez más y más deprisa hasta que... Hasta que la fuerza tremenda de una especie de remolino te expulsa. Lo que queda de la estrella se transforma en unos chorros extraordinariamente poderosos, hechos de lo que parece ser materia transformada en energía pura. Desconcertado, te preguntas si acabas de trasladarte a un mundo paralelo en el interior de un agujero negro, pero pronto te convences de que no es así: te estás alejando del monstruo. El señor de la materia te ha proyectado, o has sido rechazado. El anillo gigante de la Vía Láctea vuelve a ser visible en la lejanía.

Como la canica que hacíamos girar demasiado rápido contra la pared interior de una ensaladera, tanto tú como el polvo de la estrella desintegrada habéis salido volando antes de alcanzar aquello de lo que está hecho el agujero negro... Caías demasiado rápido y has acabado catapultado antes de llegar al monstruo invisible, y lo mismo ha ocurrido con la estrella, cuya materia se ha transformado en dos chorros de los dos tipos de luz con mayor energía conocidos por la humanidad: los rayos X y los rayos gamma. Uno de ellos sale disparado hacia arriba y el otro hacia abajo, como dos faros que dirigiesen su luz no solo al descomunal espacio que separa a las estrellas de la Vía Láctea, sino todavía más lejos, hacia vacíos más inmensos.

La velocidad de los chorros es asombrosa, como la tuya. Una fuerza te arrastra y pasas volando junto a millones de estrellas, del mismo modo que si un dedo gigante que luciese la Vía Láctea como un anillo señalase tu destino.

A lo mejor todavía no había llegado tu momento de sumergirte en un agujero negro. Puede que la naturaleza quisiera que vieras algunas bellezas

más de nuestro universo antes de dejar que te apresasen los brazos letales de tan oscura sima...

Por algún misterioso motivo, tu corazón se recupera y tus pensamientos vuelven a ser livianos, lo que libera a tu mente de las garras de la gravedad. Estás lejos y has recuperado la libertad de movimientos. Sin embargo, decides seguir el chorro un rato para ver a dónde te lleva y no tardas mucho en darte cuenta de que empieza a pasar algo raro: las estrellas que te rodean parecen ser cada vez menos numerosas, hasta el punto de que, poco después, ya no ves ninguna ante ti. En la lejanía brillan aún algunas fuentes de luz, pero están mucho más lejos que cualquier cosa que hayas visto hasta ahora. También te parece extraño que haya desaparecido el anillo de la Vía Láctea. Mientras te preguntas dónde estará, bajas la mirada y te quedas boquiabierto ante las vistas más extraordinarias que has contemplado nunca. Ningún humano o artefacto fabricado por el hombre ha tenido la buena fortuna de poder gozar de esas vistas. Las observaciones desde la Tierra han captado algunas imágenes de los alrededores del agujero negro del que acabas de escapar, pero no de esto. Si llamas a la Tierra desde tu ubicación actual, la respuesta, en caso de que alguien contestase, tardaría más de 90 000 años en llegar a donde estás.

Estás encima de la Vía Láctea. Tu galaxia.

Si mientras mirabas al cielo nocturno desde la playa de arena pensabas que debía extenderse hasta el mismo límite del universo, ahora puedes comprobar que no es así. La Vía Láctea no lo es todo, ni mucho menos. Solo es una isla de estrellas perdida en una inmensidad oscura de una escala mucho mayor.

7

La Vía Láctea

Los primeros hombres que estuvieron en el espacio regresaron abrumados tanto por la belleza de nuestro planeta como por su tamaño minúsculo en un mar de negrura. Sin embargo, aquello no fue más que el comienzo. Lo que estás viendo en este momento es todavía más intimidante.

Ya sabías que la Vía Láctea era una galaxia, pero hasta ahora no habías podido ver lo que eso significa. Vista desde arriba (o desde abajo, no supone ninguna diferencia), la nube blanquecina que vislumbramos en el cielo nocturno desde la Tierra no parece en absoluto una nube, sino más bien un disco grueso hecho de gas, polvo y estrellas. Justo bajo tus pies, y ocupando una extensión tan inmensa que la luz tardaría decenas de miles de años en atravesarla, se reparten 300 000 millones de estrellas, agrupadas por la gravedad, que giran alrededor de un centro brillante.

Si consideramos que el sistema solar, con sus planetas, asteroides y cometas, es nuestra familia cósmica y que Próxima Centauri es nuestra estrella vecina, la Vía Láctea podría considerarse nuestra megalópolis cósmica, una ciudad bulliciosa con la fuerza de 300 000 millones de estrellas, entre las cuales el Sol es solo una más.

Estas agrupaciones de estrellas, polvo y gas que se entrelazan en una danza circular, rodeadas de vacío, es lo que los científicos denominan *galaxias*. Del mismo modo que nuestra estrella fue bautizada como el Sol, la Vía Láctea es el nombre que hemos dado a esta galaxia en concreto, la nuestra.

Cuatro descomunales brazos brillantes en espiral, separados por zonas oscuras, giran alrededor de su centro, donde se concentran en una conglomeración todavía más brillante de gas, polvo y estrellas que oculta todo lo que hay hasta llegar al agujero negro del que acabas de escapar. Desde

donde te encuentras, solo resulta visible el chorro de materia energética que expulsa, el mismo con el que has viajado.

Si te cuesta imaginar lo que suponen realmente 300 000 millones de estrellas flotando separadamente, no te preocupes demasiado: nadie puede hacerlo. De todos modos, si intentases explicar lo que estás viendo desde aquí arriba a tus amigos una vez que estuvieras de vuelta en la isla tropical, los números no te serían de ayuda. Lo mejor que puedes hacer es decirles que cojan una caja de cartón cúbica de un metro de alto y que la rellenen hasta arriba con arena de la playa. A continuación, pídeles que rellenen otras 300 cajas con esa misma arena. En nuestra galaxia hay tantas estrellas como granos de arena en todas esas cajas juntas. Pídeles a tus amigos que sean tan amables de regresar a Londres, verter el contenido de esas 300 cajas sobre un disco que cubra toda Trafalgar Square y que dibujen cuatro brazos en espiral con la arena. Después, diles que se sienten sobre los hombros de Nelson. El resultado tiene el mismo aspecto que los 300 000 millones de estrellas de la Vía Láctea que estás viendo en este momento. Antes de que trepen a la estatua, diles a tus amigos que has marcado uno de los granos de arena con un punto amarillo y proponles que traten de encontrarlo. Así se darán cuenta de lo que le está costando a tu cerebro distinguir dónde se encuentra el Sol desde aquí arriba, desde lo alto de la auténtica Vía Láctea. Y eso por no hablar de la Tierra, que es cien veces más pequeña. Encontrar una estrella es una tarea complicada, pero los cazadores de planetas todavía lo tienen peor.

Por lo menos, al contemplar la Vía Láctea desde arriba dispones de una ventaja respecto a tus amigos si te propones encontrar el Sol: puedes recordar todas las imágenes captadas del cielo nocturno por los humanos, tanto desde la Tierra como desde el espacio, y compararlas con lo que ves. Con los años, los científicos han creado un mapa de las estrellas de nuestra galaxia y, sin haber abandonado nunca la Vía Láctea, tienen una idea bastante precisa de dónde se encuentran el Sol y la Tierra en ella.

Para comparar lo que ves con las imágenes del cielo, empiezas por concentrarte en las cercanías del centro galáctico, cerca de la gran aglomeración y del agujero negro, donde todo se ve brillante, hermoso y poderoso. ¿No sería natural que una especie tan importante como la nuestra hubiera surgido en esa posición tan especial o, al menos, cerca de ella? ¿No sería lógico, dada nuestra importancia, que el Sol y la Tierra formasen parte de esa majestuosidad galáctica?

Pues no. El sistema solar se encuentra a unos dos tercios de la distancia que separa el agujero negro central y los confines de nuestra galaxia, en algún

lugar de alguno de los cuatro brazos brillantes. Un lugar nada privilegiado.^[8] Para acabar de hurgar en la herida, estás a punto de ser testigo de que, por muy enorme que pueda ser comparada con nosotros, incluso nuestra galaxia entera es bastante insignificante a escala cósmica.

Te das la vuelta para encontrarte de frente con lo que te pueda quedar por ver más allá de la Vía Láctea y distingues unas burbujas brillantes que parecen iluminar los rincones más alejados del universo. Te preguntas si se trata de estrellas sueltas. Parecen demasiado borrosas para serlo... Y demasiado lejanas... Puede que sean... ¿Son más galaxias? ¿Se pueden observar a simple vista desde la Tierra?

La respuesta a la última pregunta es no.^[9]

Todas las estrellas que has vislumbrado desde la Tierra al mirar al cielo de noche pertenecían (y todavía lo hacen) a la galaxia de la Vía Láctea, el disco en espiral que acabas de ver. Todas. Incluso aquellas que parecen bastante alejadas de la franja blanquecina que recorre el cielo nocturno. La Vía Láctea no es una esfera infinita, sino un disco finito, y la Tierra no está en su centro, sino más bien cerca de sus límites. Por ese motivo, según el punto del cielo hacia el que mires verás distinta cantidad de estrellas, del mismo modo que el cielo nocturno se ve diferente desde diversos lugares de la Tierra: cada uno da a una parte distinta de la Vía Láctea.

Además, el eje terráqueo está inclinado de tal modo que el hemisferio sur siempre está enfocado hacia el centro galáctico, mientras el hemisferio norte siempre mira hacia otro lado, lejos del centro, donde hay menos estrellas. Por ese motivo, las noches septentrionales son bastante sosas comparadas con las del sur.

Lo que llamabas la Vía Láctea desde la playa de la isla tropical apenas era una loncha de tu galaxia, una franja que contiene cientos de millones de estrellas demasiado alejadas para poder distinguirlas individualmente con la vista, pero cuya luz combinada forma una tira borrosa. Mientras ahora escudriñas la lejanía, mirando hacia lo desconocido, dispuesto a hacer saltar a tu mente hacia el lugar que te parezca más misterioso, te das cuenta de repente de que todas esas burbujas de luz parecen tan borrosas como la Vía Láctea.

También tienen que ser galaxias.

Mientras lo piensas, muy cerca de ti, y con cierta inclinación, se eleva otra galaxia. La vista es asombrosa. Su borde aparece de algún lugar por debajo de la Vía Láctea y crece a toda velocidad. Es *Andrómeda*, nuestra hermana

mayor galáctica. Es tan grande que cuesta creer que la humanidad tardase tanto en descubrir lo que era.

Vista desde la Tierra, Andrómeda se extiende en el cielo nocturno ocupando el espacio equivalente a unas seis lunas llenas, pero está tan lejos de nosotros que, a pesar de que cuenta con un billón de estrellas, solo podemos observar a simple vista su núcleo central. Y este es minúsculo.

El primer humano que reparó en su existencia (y del cual nos han llegado sus escritos) fue el extraordinario astrónomo persa Abd Al-Rahman Al Sufi. Hacia finales del primer milenio de la era cristiana, hace más de mil años, cuando mucha gente, a lo largo y ancho del mundo, pasaba sus cortas vidas luchando entre sí, inventando macabros aparatos de tortura y temiendo el fin del mundo, él observaba las estrellas. Al Sufi fue uno de los mejores astrónomos de la edad dorada de Bagdad, pero cuando describió el núcleo central de Andrómeda como una vaga nube de luz, no podía saber que se trataba de otra galaxia. Ni siquiera sabía lo que era una galaxia. En realidad, eso no se sabría hasta unos mil años más tarde. Nadie supo que las galaxias eran agrupaciones separadas de estrellas hasta los trabajos de observación del astrónomo estonio Ernst Öpik y el astrónomo estadounidense Edwin Hubble en la década de 1920. Ellos fueron los primeros en constatar que existían grandes espacios que separaban a estos otros grupos de estrellas de la Vía Láctea, lo que los convertía en entidades independientes por derecho propio. [10]

Andrómeda es la prueba cósmica más cercana de que la Vía Láctea no es todo el universo.

Mientras la miras, te das cuenta de que la Vía Láctea y esa majestuosa espiral de un billón de estrellas giran la una alrededor de la otra, y también observas que todas las galaxias del universo están inmersas en un ballet cósmico, en el cual las bailarinas son islas brillantes independientes, agrupaciones de miles de millones de estrellas que se mueven en el vacío oscuro del espacio.

Recorres con la mirada el horizonte cósmico y te pasa por la mente un sentimiento extraordinariamente poderoso al comenzar a divisar la Vía Láctea, Andrómeda y otras galaxias, tanto cercanas como remotas.

En un momento de puro éxtasis, de repente lo ves todo: decenas, cientos, miles, millones, cientos de millones de galaxias. Están por todas partes, formando grupos de tamaños diversos, y se aglomeran en extrañas estructuras con aspecto de filamento que resquebrajan todo el universo visible.

¿Quién lo iba a imaginar?

Hace unos minutos —¿o han pasado horas?— estabas tumbado en una playa, de vacaciones, y ahora tu mente alberga todo el universo visible. Has alcanzado una perspectiva tan privilegiada que los puntos que salpican el universo ya no son estrellas solitarias, sino grupos de galaxias, cada uno de los cuales contiene miles de galaxias, que, a su vez, están formadas por cientos o miles de millones de estrellas, y la Vía Láctea es una de ellas.

Mientras contemplas este asombroso paisaje y miras todos esos lugares, se te ocurre que encontrar tu galaxia natal entre todas las demás sería tan problemático como encontrar el Sol en la Vía Láctea, o uno de los granos de arena de Trafalgar Square. Liberas tu mente, te proyectas a la velocidad del pensamiento y ves las galaxias rotar, bailar, arremolinarse, destruirse y chocar entre sí, y también presencias cómo desaparecen galaxias minúsculas al ser simple y llanamente devoradas por alguna vecina gigante.

Un momento.

¿Deberías preocuparte por ese último punto?

En un abrir y cerrar de ojos, regresas a las cercanías de la Vía Láctea. Andrómeda está sobre ti. Es enorme. ¿Es posible que un día se fusione con la Vía Láctea? No cabe duda de que las dos galaxias orbitan en sincronía, pero está pasando algo más... Enfocas mejor y te sobresaltas al comprobar que, en realidad, Andrómeda y la Vía Láctea se precipitan la una contra la otra a la asombrosa velocidad de 100 kilómetros por segundo, por lo que solo faltan 4000 millones de años para que colisionen.

Empezarán a fusionarse 1000 millones de años antes de que explote el Sol.

Tragas saliva con dificultad y te preguntas cómo podría llegar a salvarse la humanidad de algo así, pero hay algo que te consuela: las galaxias son tan grandes, y hay tanto espacio entre las estrellas que contienen, que las colisiones galácticas casi nunca provocan que las estrellas choquen entre sí... Por supuesto, existe un cierto riesgo pero, de momento, tendrás que aceptarlo.

Es completamente normal que, llegado a este punto, pases por una depresión filosófica copernicana. Incluso puede que desees haber vivido hace unos pocos milenios, cuando la Tierra era plana y se consideraba que era el centro del universo por el simple motivo de que a los seres humanos nos gusta

considerarnos especiales. Debía de ser muy tranquilizador creer que todo daba vueltas a nuestro alrededor, que los ángeles hacían girar unos engranajes sagrados conectados a un mecanismo de relojería cósmico que hacían que las estrellas y el Sol se moviesen. ¿Por qué diablos tuvo que echarlo todo a perder Copérnico, matemático y astrónomo polaco del siglo xv, al proclamar que el Sol *no* orbitaba alrededor de la Tierra? ¿Por qué tuvo que observar el matemático y astrónomo del siglo xvii Galileo que Júpiter tenía lunas que *no* orbitaban alrededor de la Tierra (ni del Sol, de hecho, ya que lo hacían alrededor del propio Júpiter)? ¿Por qué tuvieron que darse cuenta Öpik y Hubble de que existían otras galaxias? ¿Por qué? ¡Ellos comenzaron todo esto!

Dejando a un lado el hecho de que tenían razón, sin personas como Copérnico, Galileo y tantos otros, la humanidad estaría condenada y, además —y esto es lo peor de todo—, yo no habría podido escribir este libro. Jamás habrías podido viajar mediante el pensamiento a través de nuestro vecindario cósmico y, todavía menos, más allá de él (como estás a punto de hacer). Y entre tú y yo: ¿no te parecería una lástima que toda la belleza oculta ahí fuera no tuviera quien la contemplase y la explorase o que, peor todavía, solo la pudiesen disfrutar otras especies inteligentes desde su propia perspectiva cósmica remota?^[11]

Mientras tratas de asimilar el tamaño descomunal del universo visible, te preguntas si realmente existen otras especies inteligentes. Entre los miles y miles de millones de grupos de estrellas que salpican un universo que, por lo demás, es bastante oscuro, ¿existen otras enanas rojas como Próxima Centauri rodeadas de sus propios planetas? ¿Existen sistemas en los que dos estrellas brillan sobre mundos habitados? ¿Existen otras Tierras?

Parece casi imposible creer que estemos solos en este universo gigantesco: «Si estamos solos, hay una cantidad espantosa de espacio desaprovechado», escribió en 1985 Carl Sagan, astrónomo y cosmólogo estadounidense. Sin embargo, treinta años más tarde, nadie en la Tierra sabe si hay alguien más. La existencia de vida alienígena es una posibilidad emocionante (y también aterradora, claro) pero, de momento, no es más que eso: una posibilidad. De todos modos, la situación puede cambiar pronto, ya que nuestros telescopios siguen descubriendo cada vez más mundos nuevos. Al menos yo espero que cambie.

Incluso en los años más oscuros del caótico pasado de la humanidad, algunas personas desafiaron heroicamente a las autoridades religiosas al afirmar que, de hecho, era muy probable que existiesen otros mundos. En el

año 1600, el monje católico italiano Giordano Bruno, por ejemplo, murió quemado vivo en la hoguera en Roma por atreverse a defender en público una idea herética: afirmaba que existían «incontables Soles e incontables Tierras que orbitan alrededor de su propio Sol». Esta creencia le costó una muerte agónica.

Hoy en día, y aunque en mi opinión demasiadas personas (incluso en los países más desarrollados) prefieren hacerse las sordas y las ciegas antes que enfrentarse a algunos hechos desvelados por la ciencia, ya no existe la Inquisición. Se han descubierto planetas potencialmente similares a la Tierra y se ha reivindicado la importancia de científicos como Giordano Bruno, aunque esto haya sido bastante recientemente.

Hace siglos que la humanidad conoce la existencia de planetas como Júpiter o Venus, pero la primera vez en la historia que alguien observó un planeta orbitando alrededor de una estrella que no fuese el Sol fue apenas hace veinte años, cuando, en 1995, dos astrónomos suizos, Michel Mayor y Didier Queloz, detectaron un mundo gigante, al que llamaron *51 Pegasi b*, que orbitaba alrededor de una estrella situada a unos 60 años luz de nosotros.

No obstante, el planeta que descubrieron Mayor y Queloz no es habitable por el simple motivo de que se encuentra demasiado cerca de su estrella. No obstante, es un planeta. Tras aquel descubrimiento, se fueron hallando otros mundos similares cada mes, hasta que se lanzaron satélites diseñados expresamente para encontrar aún más. El telescopio Kepler, de la NASA, lanzado en el 2009, es uno de ellos. Actualmente, se han detectado más de 6000 mundos candidatos, de los cuales se ha confirmado que unos 2000 orbitan estrellas lejanas. Algunos de ellos incluso se encuentran en sistemas de doble estrella (planetas que orbitan a dos Soles) y, sin duda, el futuro nos deparará muchas sorpresas. Para diferenciarlos de Venus, Júpiter y el resto de los planetas que forman parte de la familia de nuestro Sol, llamamos a estos mundos lejanos *exoplanetas*. Por cierto, aproximadamente una docena de los 2000 exoplanetas confirmados son potencialmente similares a la Tierra, y al menos tres de ellos —de los cuales la existencia de uno se confirmó en 2015— presentan un parecido asombroso con nuestra Tierra (el de 2015 se llama Kepler 442b)...

Evidentemente, cabe la posibilidad de que todos estos otros mundos sean estériles, pero también podrían albergar vida. De hecho, estoy dispuesto a apostar a que se descubrirán indicios directos e indirectos de vida extraterrestre en las próximas dos décadas, más o menos. Puede que sea en uno de estos candidatos o en algún otro planeta que todavía no hemos

descubierto. Estamos a punto de disponer de la tecnología que nos permitirá detectar rastros de actividad biológica en la atmósfera de esos mundos remotos. Sería genial vivir un descubrimiento semejante, ¿no te parece?

Hay que tener en cuenta que todos los exoplanetas que hemos descubierto hasta ahora se encuentran en la Vía Láctea, nuestra galaxia, así que están bastante cerca de la Tierra. Los planetas que puedan existir en otras galaxias están demasiado lejos para que nuestros telescopios puedan verlos, aunque es posible que esos mundos se cuenten por cientos de miles de millones.

La galaxia de Andrómeda, por ejemplo, podría estar repleta de vida. Es la mayor de las galaxias que nos rodea y está muy cerca de nosotros. A escala galáctica, claro. A escala humana, no tanto. Si realizásemos una llamada telefónica ahora mismo a algún lugar cercano a alguna de su billón de estrellas, la señal tardaría unos dos millones y medio de años en alcanzar su destino. Si lográsemos establecer contacto, más nos vale dar con una pregunta inteligente que hacerles. Y también con un lenguaje adecuado.

1

El primer muro del fin del universo

¿Cuál es el tamaño del universo visible?

¿Qué pasaría si te lanzasen directamente hacia lo que se puede ver durante el máximo tiempo posible?

¿Hay algún límite?

Puesto que, cuando te reúnas con tu cuerpo, alguien te lo va a preguntar tarde o temprano, es mejor que intentes averiguarlo.

Lleno de confianza, escoges una dirección al azar y te lanzas hacia ella.

Mientras empiezas a alejarte de tu galaxia natal, observas de inmediato que la Vía Láctea forma parte de un pequeño grupo de cincuenta y cuatro galaxias con conexiones gravitatorias entre sí. Los científicos han denominado a ese grupo el *Grupo Local*, y tiene unos 8,4 millones de años luz de longitud. La Vía Láctea es su segundo miembro de mayor tamaño y Andrómeda es el rey.

Más allá hay otros grupos de galaxias. Algunos de ellos cuentan con varios cientos de galaxias. Estas grandes agrupaciones, mucho mayores que la nuestra, se denominan *clústeres* de galaxias. Mientras sigues avanzando, vuelas junto a clústeres gigantes, *superclústeres*, que contienen decenas de miles de espirales brillantes y discos ovales hechos de incontables estrellas y agujeros negros, todos ellos enlazados por la gravedad y repartidos a lo largo del espacio y el tiempo.

Estos superclústeres forman estructuras de un tamaño asombroso.

Sigues alejándote de todo lo que conoces y, al ver el universo a una escala distinta, te das cuenta de que, una vez más, tendrás que reconsiderar tu escala relativa en términos absolutos. Con los ojos de tu imaginación abiertos de par

en par, das media vuelta y lo miras todo, captas toda la luz que puedes de todas las direcciones y tratas de encontrar el final de todo esto. Las nociones de arriba y abajo ya no existen, no hay ninguna diferencia entre la izquierda y la derecha. Te encuentras a más de 1000 millones de años luz de la Tierra, y miles y miles de millones de galaxias resplandecientes se extienden a lo largo de una oscuridad de unas dimensiones increíblemente grandes. A tu alrededor, tanto en las cercanías como en la distancia, galaxias, grupos de galaxias, clústeres y superclústeres están separados por distancias todavía mayores, incluso mayores que toda la distancia que has recorrido hasta este momento.

Cuesta creer que la Vía Láctea no sea más que uno de todos esos puntos, pero sabes que lo que ves no es una fantasía, sino algo que la humanidad ya conoce.

En cualquier caso, se trate de hechos o no, la idea de salvar la Tierra ya no parece tener sentido. ¿Para qué molestarse? ¿Para qué preocuparse? Comprensiblemente, la idea de dejarlo todo y flotar para siempre en esta realidad enorme y preciosa se convierte en un sueño seductor. ¿Y si pasas toda tu vida aquí arriba? ¿Es eso lo que hacen los científicos? ¿Soñar despiertos en sus laboratorios?

Mientras contemplas la idea de no regresar jamás a tu vida cotidiana, se apodera de ti un extraño sentimiento que inyecta una energía renovada en tu mente: en cierto modo, todo lo que ves y todo lo que estás atravesando es lo que la humanidad entiende como universo. En cierto modo, estás viajando por el universo tal y como lo imaginan las mentes humanas, así que toda esta inmensidad debe caber en los límites del cerebro humano, si es que los tiene. Aunque parezca increíble, la idea te sirve de consuelo y te devuelve a tu condición de ser humano, miembro de una especie capaz de proyectar sus pensamientos hasta donde alcanza la vista y mucho más allá... Al tiempo que intentas abarcar el paisaje espacial, te preguntas si es posible que su magnitud todavía sea mayor. ¿Podría tu mente asimilar más aún? Sea cual sea el destino de la Tierra, decides averiguarlo. Con tu corazón virtual disparado por una curiosidad renovada, te lanzas hacia delante a toda velocidad y dejas atrás miles de millones de galaxias más. Como es costumbre entre los humanos, no tardas en familiarizarte con aquello e incluso la inmensidad del universo deja de sorprenderte. La desesperación de hace un segundo parece haberse transformado en entusiasmo.

A tu alrededor, ves galaxias que colisionan, estrellas que estallan y forman superestrellas, supernovas, que deslumbran a miles de millones de sus

hermanas por un instante. En el universo todo gira alrededor de todo, y tienes la fortuna de presenciar un espectáculo de proporciones épicas y bellezas inhumanas.

Sigues avanzando sin mirar atrás. Ya estás a 10 000 millones de años luz de la Tierra.

Tu mente sigue volando hacia delante, cada vez más lejana. Estás a 11 000 millones de años luz de la Tierra.

A 12 000.

A 13 000 millones de años luz, y sin parar.

Eufórico, buscas el fin del universo sin encontrarlo, pero tu mente se ralentiza ligeramente porque las galaxias que te rodean empiezan a escasear. Además, parece que las estrellas que las forman son cada vez más grandes. De hecho, son enormes. Algunas de las que ves en estos momentos son cientos de veces mayores que las estrellas de tamaño medio de la actual Vía Láctea. Sigues avanzando, pero a un ritmo más lento. El número de fuentes de luz que tienes delante de ti se ha reducido drásticamente. Al alcanzar una distancia de unos 13 500 millones de años luz de la Tierra, casi todas las luces han desaparecido.

Te detienes. ¿Es posible que hayas alcanzado lo que buscabas? ¿Tiene fin el universo?

Recuerdas que planteaste esa misma pregunta un par de veces mientras charlabas con tus amigos antes de vuestro viaje a la isla tropical, pero nunca te habías parado a pensarlo en serio. Ahora te preguntas si pensabas que ibas a ser capaz de alejarte de la Tierra eternamente para recorrer el universo más lejano y seguir viendo nuevas galaxias.

Dado que estás viajando por el universo tal y como lo vemos desde la Tierra, te diré una cosa: nuestros telescopios nos han demostrado que no es así. Existe un límite de lo que podemos ver, y de lo que jamás seremos capaces de ver, usando la luz. Tu mente todavía no ha llegado a ese límite, pero no tardará en hacerlo. De momento, está viajando a través de un lugar tan remoto en el espacio y el tiempo que todavía no habían nacido siquiera las primeras estrellas. Este es el motivo por el que el lugar y la época que estás atravesando en este instante reciben el nombre de *edad oscura cósmica*. La luz que vemos procedente de ese punto ha tenido que viajar 13 500 millones de años por todo el universo para alcanzarnos. Fue justo entonces, en un franja temporal de unos 800 millones de años, cuando las primeras estrellas iniciaron su tarea de transformar los átomos pequeños de hidrógeno y helio en la materia de la que estamos hechos tanto nosotros como otros planetas y

estrellas. Esa fue la primera generación de estrellas, mientras que nuestro Sol pertenece a la segunda o tercera generación.



Sigues avanzando, convencido de que la oscuridad se extenderá para siempre, hasta que, de repente, llegas a un lugar por el que la luz ya no puede viajar.

Es la superficie de lo que parece ser un muro en el espacio y el tiempo.

Más allá de él, el universo no es oscuro. Es opaco. Te detienes justo delante de esa pared y tiendes una mano virtual con mucho cuidado para comprobar qué hay detrás.

Un escalofrío recorre tu inexistente carne al tocar lo que parece ser una cantidad de energía tremenda. La energía es tan densa que entiendes de inmediato por qué la luz no puede viajar tras el muro: sería algo parecido a encender una linterna en el interior de una pared. La luz existe tras la superficie que tienes delante de ti, pero no goza de ninguna libertad de movimiento.

El lugar al que acabas de llegar no es un producto de tu imaginación. Es el más lejano que pueden ver nuestros telescopios; el punto del espacio y la luz situado donde y cuando nuestro universo se volvió transparente. Ninguna luz más lejana ni de antes de ese momento llegará jamás a la Tierra en línea recta. Nuestros telescopios no captarán nunca luz emitida antes de ese punto.

Los físicos teóricos tardaron muchas décadas en descubrir el sentido de esta realidad. Al final, como comprobarás en el capítulo siguiente, se les ocurrió una idea bastante brillante que daba sentido a todo y a la cual se le denomina *teoría del Big Bang*.

Sin embargo, de momento tendrás que aceptar que acabas de alcanzar el final del universo visible, una superficie que hemos podido detectar y cartografiar con nuestros telescopios. La superficie de un muro que la luz no puede atravesar y que ha recibido el nombre de *superficie de última dispersión*.

Justo cuando empiezas a apreciar lo raro e inesperado que suena esto, todo lo que te rodea desaparece y te encuentras de vuelta en la isla tropical, mirando al cielo nocturno. Las estrellas siguen ahí, como los árboles y el mar. Y también están tus amigos, que te miran con una expresión bastante peculiar.

Te incorporas y les cuentas el extraordinario viaje que acabas de realizar. Les hablas de la muerte del Sol —debemos encontrar una solución a ese problema—, les dices que el universo es tan grande que es de locos... ¡Y lo del muro! ¡Ahí arriba hay una pared que marca el paso de la opacidad a la Edad Oscura!

Las caras de extrañeza de tus amigos dan paso a miradas de preocupación. Te ayudan a levantarte y, mientras te acompañan de vuelta a tu residencia de vacaciones, oyes cómo se preguntan si las gambas a la brasa eran de verdad frescas o si el alcohol era demasiado fuerte.

Unas horas más tarde, parte de los rayos del Sol, que se alza por el este, empiezan a rebotar sobre el polvo que contiene la atmósfera de la Tierra (sobre todo los que corresponden al color azul) y lo difuminan todo, ocultando el espacio a la vista. Tumbado en la cama, rodeado por el canto matutino de los pájaros, abres los ojos y distingues la silueta de una de tus amigas a tu lado. Por lo visto, ha hecho guardia junto a tu cama toda la noche. Te preguntas de nuevo si todo ha sido un sueño. ¿De verdad ha viajado tu mente por la inmensidad del espacio?

Tu amiga te pregunta si te encuentras mejor y te ofrece un vaso de agua. Una brisa fresca matutina te acaricia la frente, sonrías y piensas que, sea como sea, es fantástico volver a estar en la Tierra.

Tu sonrisa se ensancha porque, en lo más hondo de ti, sabes que has experimentado algo muy especial y que no ha sido un sueño, que todo era auténtico y que has tenido la gran fortuna de *ver* sin tener que pasarte años estudiando. Por algún motivo que desconoces, has visto el universo tal y como hoy lo conocemos.

Aliviada al verte sonreír, tu amiga se levanta para ir a buscarte el desayuno. En cuanto se va, tratas de recordar lo que acabas de experimentar e intentas no olvidarlo, porque tienes la sensación de que no ha sido más que el comienzo de una aventura muy extraña.

Te quedas sentado en tu cama de hojas de palma entrelazadas, contemplando las olas que llegan a la costa, y recuerdas la Tierra tal y como la viste desde el espacio, un punto azul minúsculo orbitando alrededor del Sol. Recuerdas las otras estrellas, miles de millones de ellas, arremolinándose alrededor del agujero negro que se oculta cerca del centro de la Vía Láctea, nuestra galaxia. Entonces recuerdas Andrómeda y la cuarentena aproximada de galaxias que forman el Grupo Local, y vuelven a tu mente los otros grupos

y los clústeres y superclústeres de galaxias que se extienden hasta muy lejos, hasta el infinito y más allá.

No.

Hasta el infinito, no.

Hasta la Edad Oscura y el muro. Hasta la superficie última de dispersión, tras la cual la luz no puede viajar con libertad.

Además, sabes que, independientemente de la dirección que hubiese seguido tu mente al emprender el viaje, habrías terminado topando contra esa pared.

Casi parece que, a una escala mucho mayor de la que nadie sea capaz de imaginar, la Tierra se encuentra en el centro de una esfera cuyo límite es ese muro. Lo que hay en el interior de esa esfera podría ser todo el universo visible al que podrá acceder la humanidad a lo largo de toda su historia.

Con la mirada perdida en el horizonte que tienes delante, asimilas esa idea.

Si la superficie de última dispersión rodea a la Tierra, entonces esta *debe* estar en el centro de una esfera rodeada por ese muro.

Parece lógico.

Sin embargo, eso significa que la Tierra *está* en el centro de su universo visible.

Alterado, niegas con la cabeza y murmuras que no tiene sentido; hasta a ti te cuesta creerlo.

No tiene ningún sentido.

Pese a todo, sabes lo que has visto y, de pronto, desearías poder volver allá arriba y echar otro vistazo a todo.

Muy pronto lo harás, pero desde una perspectiva muy distinta.

Para que te vayas preparando, te diré que la superficie que viste, la superficie última de dispersión, no es el fin de la historia. Existen, por lo menos, otras dos superficies más allá de esta, con nuevos muros tras ellas. La primera se llama *Big Bang*. La segunda oculta lo que causó el Big Bang.

Antes de terminar el libro, viajarás hasta ese segundo muro, y más allá.

Pero, antes de eso, deberías tomártelo con calma.

A fin de cuentas, estás de vacaciones y tu amiga ha regresado con el desayuno.

Sin embargo, mientras comes, te ayudaré a poner un poco de orden en lo que acabas de vivir.

Segunda parte
Comprender el espacio exterior

1

Ley y orden

¿Alguna vez has intentado saltar desde lo alto de un acantilado? ¿O tirarte por la ventana del piso más alto de un rascacielos?

Lo más seguro es que no.

¿Por qué?

Porque te matarías.

Igual que yo, si se me ocurriese intentarlo, e igual que cualquier otra persona.

¿Y cómo sabemos esto?

La respuesta es muy directa y, al mismo tiempo, profunda y misteriosa. A través de ella se explica el motivo por el que la raza humana se las ha arreglado para conquistar la Tierra y un cachito del firmamento. Explica también cómo conseguimos mandarte a contemplar las estrellas en la primera sección de este libro. Está todo relacionado con la naturaleza y sus leyes.

Independientemente de lo cultos que seamos, de si nos gustaban o no las ciencias en la escuela, y de si somos o no científicos, si hacemos examen de conciencia veremos que todos nosotros intuimos que existen leyes en la naturaleza y que estas no pueden vulnerarse. El hecho de que todo aquel que salte desde una altura excesiva acabará inevitablemente estampado contra el suelo es una de ellas.

A lo largo de los milenios que nos separan de nuestros ancestros cazadores y recolectores, son muchos los hombres y mujeres que han buscado sin cesar tales leyes; es más, hubo quien supo encontrar unas cuantas. Hoy, la ciencia que se encarga de continuar esta búsqueda y de desentrañar los misterios de la naturaleza recibe el nombre de *física teórica*, y son las puertas de este reino (en perpetua construcción) las que están a punto de abrísete para que las cruces.

Podría decirse que los cimientos de este reino se asentaron cuando el astrónomo, físico, matemático y naturalista inglés Isaac Newton creó un nuevo lenguaje, el del análisis matemático, que le permitió describir casi todo cuanto está al alcance de los sentidos del hombre. El porqué de que una persona que salte desde un precipicio caiga en vez de caminar sobre el aire viene determinado por una fórmula. Siempre y cuando sepamos cómo empieza la caída, la fórmula de Newton nos indica dónde y con qué velocidad terminará. La misma fórmula nos dice que, si dejamos de lado la fricción del aire, no hay diferencia entre un ser humano, una esponja o un trozo de pastel cuando caen desde un precipicio. Igualmente afirma que la Luna completa una órbita alrededor de la Tierra en algo menos de veintiocho días, y que esta tarda un año en girar alrededor del Sol. Esa fórmula en concreto recibe el nombre de *ley universal de la gravitación de Newton* y, a causa de ella, se sigue considerando a Isaac Newton una de las mentes más preclaras de todos los tiempos.

No hace falta ser científico para imaginar que haber descubierto una ley semejante tuvo que sentarle muy bien a Newton, que debió de sentirse muy satisfecho de sí mismo. Sin embargo, en lugar de montar una fiesta tras otra cada noche para celebrarlo —como habría hecho yo— prefirió asegurarse de que estaba en lo cierto y empezó a comprobar si su fórmula gravitacional merecía de veras ser considerada universal. Lo importante aquí son las escalas, dado que, como ya has comprendido en la primera parte de este libro, lo menos que puede decirse de la Tierra es que, en comparación con el universo, no es nada del otro mundo. Y también que si algo es aplicable a una pequeña mota de polvo, quizá no lo sea para una galaxia entera.

En la época de Newton, no había en el planeta un solo experimento que pudiese demostrar que su fórmula era errónea, o por lo menos cuestionarla. Una flecha, por ejemplo, aterrizaría siempre donde debía. Y lo mismo pasaría con una montaña, si hubiera alguien capaz de lanzarla por los aires.

Bueno, pero ¿qué pasa con las cosas de mayor tamaño? ¿Qué pasa con los lugares en los que los efectos de la gravedad son más intensos que los que conocemos en nuestro planeta? Para encontrar respuesta a esto tenemos que asomarnos más allá de la Tierra. Y puesto que ya te has dado un garbeo por el universo cercano, sabes que el lugar más evidente, y el más fácil, para empezar con tus comprobaciones es también el más brillante: el Sol.

2

Un pedrusco problemático

La gravedad superficial de nuestra estrella, esto es, la fuerza con la que te atrae a su superficie, es más o menos 28 veces más potente que la de nuestro planeta, pero el Sol no es el objeto de mayor potencia gravitatoria de cuantos has encontrado durante tu exploración del espacio exterior en las páginas anteriores de este libro. Los agujeros negros, por ejemplo, son mucho más potentes. Aun así, el Sol está por encima de la Tierra en esta categoría, y es bastante más fácil de investigar que los agujeros negros. Entonces, ¿la fórmula de Newton funciona alrededor de nuestra estrella igual que alrededor de nuestro planeta o no? Y ¿cómo podemos comprobarlo?

Como ya has visto, en el sistema solar hay ocho planetas. En orden inverso a su cercanía al Sol encontramos a Neptuno, Urano, Saturno, Júpiter, Marte, la Tierra y Venus. Puede que no esté de más fijarnos con atención en la forma en que se mueven por el espacio y comprobar si el Sol los atrae o no de manera congruente con lo que establece la ley de Newton. Gracias a los muchos astrónomos que sacrificaron su vida familiar para observar el devenir nocturno de los astros, en tiempos de Newton la humanidad disponía incluso de una descripción precisa de algunas de esas órbitas.^[12] Y la respuesta es casi demasiado buena para ser cierta: si se tiene en cuenta también el modo en que los planetas interactúan entre sí, todos los planetas indicados anteriormente^[13] se mueven exactamente de acuerdo con la fórmula de Newton. Menudo alivio... La fórmula, después de todo, sí era universal. Qué orgullosa debía de estar la madre de Newton.

Pero un momento. Un momento. Los lectores más avisados se habrán dado cuenta sin duda de que en la lista de planetas faltaba uno. Solo hemos mencionado siete de los ocho planetas del sistema solar. Nos hemos dejado

uno, el más cercano al Sol. El que siente, más que ningún otro, el campo gravitatorio de nuestra estrella: Mercurio.

Y con Mercurio hay un pequeño problema. Una ligera discrepancia. Nada importante. Una minucia, que seguramente no puede ser tan importante. Pero sí lo es. Durante los dos siglos posteriores al trabajo de Newton, esa ligera discrepancia cambió todo lo que la humanidad sabía sobre el espacio y el tiempo.

Mercurio no es especialmente impresionante. Apenas un poco mayor que nuestra Luna, es el planeta más pequeño del sistema solar. Es pedregoso, y su superficie está sembrada de cráteres que difícilmente desaparecerán en un futuro cercano. Mercurio carece de atmósfera: no hay una climatología que alise las irregularidades y cicatrices del terreno. Resumiendo: Mercurio no está entre esos planetas que uno escogería como destino de sus vacaciones. Completar un giro sobre su eje le lleva cincuenta y nueve días terrestres, lo que significa que una noche en Mercurio equivale a un mes en la Tierra y un día dura lo mismo. Los días (y las noches) de Mercurio son infernales. Las temperaturas diurnas pueden llegar a los 430 °C y caer por la noche hasta los -180 °C. Newton desconocía esos detalles y, seguramente, no habría podido siquiera imaginar lo inhóspito que es Mercurio. Hoy sí lo sabemos. Y también conocemos que, de acuerdo con su fórmula, la trayectoria de todos los planetas que giran alrededor del Sol debería asemejarse a un círculo ligeramente achatado. Como ya he dicho antes, el cálculo de Newton concordaba (y aún lo hace) exactamente con las observaciones realizadas en todos los planetas. Si dejaran un rastro a su paso, cada uno de los planetas habría dibujado con su estela una elipse en el cielo, un sendero por el que volverían a transitar año tras año, tal y como afirmaba Newton. Pero Mercurio no. Resulta que la órbita de Mercurio gira sobre sí misma, como un huevo que rueda sobre sus extremos, con lo que Mercurio nunca traza dos veces la misma órbita. Eso se debe *en gran medida* al resto de los planetas, que atraen hacia sí al pequeño Mercurio cada vez que se acercan a él, algo que Newton ya había supuesto. Pero hemos dicho *en gran medida*, no del todo. La discrepancia es minúscula, pero está ahí. Imagina el espacio que hay entre dos segundos consecutivos en un reloj (uno de los de toda la vida, de esos con una aguja larga y otra más corta) y divide ese espacio entre 500. Una de esas fracciones es el ángulo con el que la elipse que dibuja Mercurio difiere del cálculo de Newton en el transcurso de un siglo.

Puede parecer increíble que una deriva tan diminuta haya podido identificarse sin que los científicos hayan tenido que esperar centenares,

cuando no miles de años, pero así fue. Y lo que es peor: hoy sabemos que Newton no podría haberla previsto en ningún caso, y menos aún haberla explicado, porque esa divergencia está relacionada con un aspecto de la gravedad que escapa a todo lo que Newton podría haber imaginado.

La ecuación de Newton cuantifica la atracción mutua de los objetos, pero no dice nada a propósito de qué es realmente la gravedad. El pobre Isaac (y otros muchos científicos) dedicaron una cantidad de tiempo más que considerable a intentar comprender el origen de la gravedad. ¿Es una propiedad intrínseca de la materia, que hace que los objetos se atraigan entre sí? ¿Están vinculados todos los objetos unos con otros? Y de ser así, ¿qué es lo que los une? Hasta ahora no se ha detectado ninguna cuerda elástica, visible o invisible, que ate nuestros pies al suelo del planeta, ni entre la Tierra y la Luna. ¿Y un vínculo magnético? Pues... Los imanes no se nos enganchan a nuestros pies cuando intentamos fijarlos a ellos, porque resulta que nuestros cuerpos son eléctricamente neutros, así que la gravedad no puede ser una fuerza magnética. Pero entonces ¿qué es la gravedad? ¿Y por qué se empecina Mercurio, el más diminuto de los planetas, en ser diferente a los demás?

Newton murió en 1727 sin haber conseguido encontrar una explicación. Tuvieron que pasar ciento ochenta y ocho años antes de que a alguien se le ocurriese una idea nueva y bastante extraña.

3

1915

Lo bueno que tiene la investigación en el campo de la física es que, cuando las observaciones no resultan consistentes con la teoría, lo primero que decimos es que la observación debe estar equivocada. A continuación repetimos el experimento, y cuando este se empecina en dar una y otra vez una respuesta equivocada, comprobamos si, por casualidad, algún desconocido había anticipado ya ese resultado valiéndose de una teoría alternativa. Si resulta que la respuesta es no, podemos suponer que no tenemos ni la menor idea de por qué la naturaleza se comporta de esa manera. A partir de ahí, la opción más segura es probarlo todo. Por supuesto, ese *todo* incluye las ideas más peregrinas, y eso, tengo que reconocerlo, suele ser bastante divertido. Como veremos más adelante, las ideas que se están sometiendo hoy a prueba para dilucidar cómo nació nuestro universo son dignas de los mejores modelos de la ciencia ficción (además, tal y como dijo en una ocasión sir Martin Rees, astrónomo real y barón Rees de Ludlow, la buena ciencia ficción es mejor que la mala ciencia). En general, por supuesto, la mayoría de esas ideas están completamente equivocadas. Pero no importa. Lo que sí importa es investigar y ver qué sucede. Hasta ahora, es una manera de afrontar las cosas que ha funcionado bastante bien.

Decíamos que la fórmula de Newton llevaba usándose casi dos siglos sin ningún problema, y, para ser justos, el caso de Mercurio no afectaba demasiado a la vida de la mayoría de la gente. Pero entonces apareció un científico con una idea completamente descabellada sobre la gravedad.

Imagina el Sol en el espacio y a Mercurio girando a su alrededor, y olvídate de todo lo demás. Están solos en el universo. Un pequeño planeta rocoso en órbita en torno a un Sol brillante y gigantesco. A su alrededor, el vacío.

Ahora elimina Mercurio. Y también el Sol.

(Solo para que quede claro: no debería haber nada).

¿Y si la gravedad estuviese relacionada con esa *nada* que queda, es decir, con el tejido mismo del universo (sea este lo que quiera que sea)?

Para comprender qué sucedería de ser esto así, pongamos de nuevo al Sol en su sitio y pensemos. Si aceptamos que el tejido de nuestro universo es moldeable, una de las interacciones más sencillas que el Sol puede tener con él es darle forma. ¿Y cómo puede suceder esto? Imagina una pelota muy pesada colocada sobre una lámina de goma tensada. La goma se combará hacia abajo alrededor de la pelota. Si luego recubres la lámina de goma con jabón, todo lo que camine sobre ella —una hormiga, pongamos por caso— y se acerque demasiado a la parte curvada se deslizará hacia abajo, en dirección a la pelota. La hormiga sentiría ese efecto como algo similar a la gravedad.

Evidentemente, si las estrellas y los planetas descansasen sobre una lámina jabonosa de goma, quiero creer que nos habríamos dado cuenta de ello en algún momento. Lo que quiero decir es que el tejido del universo no puede ser una lámina lisa y sólida de goma. Sin embargo, podría ser una lámina invisible en tres dimensiones, o incluso en cuatro. E independientemente del material del que estuviese hecho ese voluminoso tejido, ¿por qué no nos lo imaginamos curvándose en tomo a la materia que contiene? No solo sobre un plano, por supuesto, sino en todas direcciones, como si una pelota sumergida en el océano curvase el agua que la rodea.

Si tomamos en serio esta idea por un instante, veremos que la gravedad no sería entonces más que el resultado de esa curvatura: siempre que algo cae, no lo hace a causa de una fuerza que tira de las cosas hacia abajo, sino porque las cosas se deslizan por una pendiente invisible en el tejido del universo (hasta que topan con un suelo de algún tipo que impide que sigan cayendo).

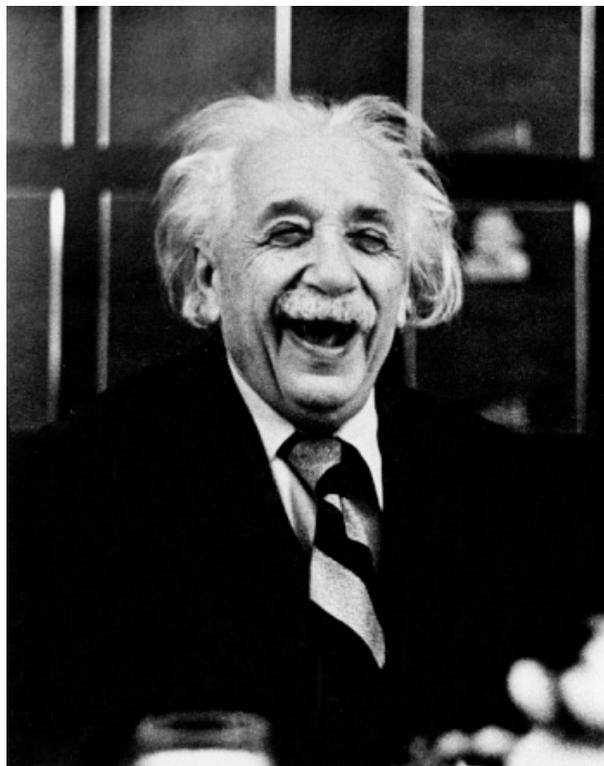
Como idea es de locos, sí, pero después de todo, ¿por qué no le damos una oportunidad? ¿Cómo se moverían las cosas en un universo de estas características?

Con todos los planetas, excepto con Mercurio, los cálculos geométricos efectuados sobre la base de esta teoría de la *curvatura* arrojan exactamente los mismos resultados que los de Newton, y eso es reconfortante, a la par que emocionante. Pero entonces ¿qué pasa con Mercurio?

La persona responsable de la descabellada idea de la curvatura descubrió que, en un universo como el que él había descrito, el círculo achatado que es la órbita de Mercurio debería girar en torno al Sol de una forma que no se corresponde con el cálculo de Newton. ¿De cuánto es la diferencia? De un

ángulo equivalente a aproximadamente la quingentésima parte de un segundo en un reloj. Cada siglo. Asombroso. Durante más de quince decenios tras la muerte de Newton, nadie fue capaz de encontrarle solución. Y él lo había conseguido. De repente, la gravedad había dejado de ser un misterio. La gravedad era una curva en el tejido del universo provocada por los objetos que este contiene. Newton no había sido capaz de verlo. Nadie había sabido verlo hasta entonces y, aún hoy, seguimos intentando comprender las consecuencias de esa revelación.

Stephen Hawking ha dicho en varias ocasiones: «No voy a comparar el placer que causa un descubrimiento con el sexo, pero desde luego es más duradero». Un simple vistazo a la imagen del hombre que resolvió el problema de Mercurio parece confirmar esa aseveración.



Se llamaba Albert Einstein, y la teoría que acabamos de presentar, la cual vincula la materia y la geometría local del universo en una teoría sobre la gravedad, se conoce como *teoría general de la relatividad*.

Esta teoría se publicó por primera vez en 1915, hace ya un siglo, y a los científicos les llevó algún tiempo comprender que, de pasada, Einstein había revolucionado nuestra visión de TODO. A diferencia de lo que todo el mundo había creído hasta entonces, había descubierto que nuestro universo no solo podía tener una forma, sino que era dinámico, o lo que es lo mismo, capaz de cambiar con el tiempo. A medida que se mueven las estrellas, los planetas y

todo cuanto existe, la curvatura que provocan en el universo se mueve con ellos. Y lo que es cierto a escala local alrededor de estos objetos bien podría serlo también para el universo en su conjunto. Dicho de otra manera: pese a que él mismo no lo creía, Einstein había descubierto que nuestro universo podía cambiar con el tiempo; que podía tener un futuro. Y si algo tiene un futuro, puede tener también un pasado, una historia y quizás incluso un comienzo.

Antes de Einstein, se daba por sobreentendido que nuestro universo había existido siempre. Ahora sabemos que no, o al menos no tal y como lo experimentamos nosotros. Y lo sabemos desde hace cien años. Es decir: en términos de conocimiento, el universo en el que vivimos, nuestro universo, tiene cien años.

4

El pasado en capas

Viajar por el espacio conocido como hiciste en la primera parte de este libro es un poco como pasear por un bosque de tu isla tropical y admirarte de la belleza de los árboles. Tras la caminata, claro, podrías regresar a tu residencia, invitar a tus amigos a tomar una copa, y contarles lo agradable que ha sido estar allí fuera y lo bien que te ha sentado respirar el fresco aire del océano. Pero, entonces, tus amigos podrían empezar a preguntar, y no sin razón, por qué crecen los árboles, y por qué sus hojas son verdes, y cómo llegaron a ser todas esas plantas como son...

Si el universo es nuestro bosque, ¿qué hay que entender sobre él? En lugar de tener dudas sobre si las gambas que acabas de comerte eran frescas o no, ¿qué te habrían preguntado tus amigos a propósito del universo en su conjunto? Más allá de contemplarlo, ¿hay algo en él que siquiera pueda entenderse? Y ahora en serio, ¿de verdad sería posible desplazarse por él como lo has hecho tú?

La respuesta a esta última pregunta es sencilla: con tu cuerpo, o a bordo de una nave espacial, no. Por lo que sabemos —de momento—, no es posible viajar por el espacio y el tiempo de esa manera, excepto con la imaginación. Nada que transporte información de ningún tipo puede desplazarse a una velocidad mayor que la de la luz. Por eso, lo que hizo tu mente en la primera parte fue en realidad volar a través de una imagen tridimensional congelada del universo tal como lo conocemos hoy, una reconstrucción obtenida a partir de retazos o, mejor dicho, de todas las imágenes capturadas por todos los telescopios que se han construido en la Tierra. Me dirás que viste cosas que se movían, que no era una imagen congelada... De acuerdo. Digamos entonces que era una imagen *casi* congelada. Sigamos. ¿Qué podemos hacer con esa imagen? ¿Existe alguna ley que gobierne la evolución de todo?

A la mañana siguiente de tu viaje mental, cuando la amiga que se quedó cuidándote por la noche salió a buscarte algo para desayunar, sabías intuitivamente que seguía existiendo en algún lugar ahí fuera, aunque no fueses capaz de verla, ¿verdad? No te dio por imaginar que se había transformado en humo para viajar atrás en el tiempo, cazar un dinosaurio y asar una de sus patas para poder traértela y que te la comieras. Eso habría sido la repanocha, desde luego, pero de igual modo que no sería especialmente sensato saltar por un acantilado o una ventana, esas cosas simplemente no pasan. Resulta complicadísimo formular y demostrar la razón fundamental por la que esto no sucede jamás, pero si queremos intentar desentrañar los misterios de nuestro universo tenemos que asumir unas cuantas cosas. Por eso, la primera suposición o «postulado» que haremos es esta: que de alguna manera somos capaces de comprender la naturaleza, más allá incluso de lo que nuestros sentidos son capaces de explicarnos. Para ello, de ahora en adelante asumiremos que, en condiciones similares, la naturaleza obedece las mismas leyes en cualquier punto del tiempo y el espacio, tanto si somos capaces de verlo como si no, tanto ahora como en el pasado y en el futuro, tanto si conocemos esas leyes como si no. A esto lo llamaremos nuestro **primer principio cosmológico**. Lo he escrito en negrita porque es importante. Si no diésemos esto por sentado nos bloquearíamos y seríamos incapaces de imaginar lo que sucede en aquellos lugares que no vemos, que son demasiado remotos o están demasiado alejados en el tiempo. Si no hacemos esta asunción, entonces tu amiga podría estar viajando por el tiempo para cazar un succulento dinosaurio.

En realidad, existen numerosos indicios de que este primer postulado es correcto, al menos en el contexto del universo que vemos a través de nuestros telescopios.

Pongamos como ejemplo el Sol.

Sabemos qué partículas emanan de él, las frecuencias de luz que emite y el tipo de energía que irradia. Todas esas cosas las detectamos cuando salen de su superficie y llegan a nuestro planeta. ¿Y qué pasa con otras estrellas más lejanas? ¿Brillan también gracias al mismo tipo de fusión nuclear o son completamente diferentes? ¿Son como un tronco ardiente, rodeado de llamas, o están hechas de plasma, como el Sol? No disponemos de muchos instrumentos para dar respuesta a nuestras preguntas. En realidad, solo tenemos uno: la luz que recibimos de esas estrellas. En ella están, encriptados, muchos de sus secretos, y uno de los que hemos sido capaces de descifrar es que las leyes de la física son iguales en todas partes. Por eso, puesto que la luz

es clave para nuestra interpretación del cosmos, vamos a fijarnos un poco en qué es exactamente.

La luz, también conocida como *radiación electromagnética*, es algo que podemos concebir como una partícula (un *fotón*) pero también como una onda. Como veremos más adelante, estas dos descripciones no solo son acertadas, sino que debemos tener en cuenta ambas si queremos comprender nuestro mundo. De momento, sin embargo, bastará con que la veamos como una onda.

Si queremos describir las olas del océano, nos hacen falta dos cosas: su altura y la distancia entre dos crestas consecutivas. La altura tiene una importancia evidente: sería prudente no reaccionar de la misma manera ante, digamos, una ola de 50 metros que ante otra que solo se alzase dos milímetros sobre el nivel del mar. El principio funciona igual con la luz, y la altura de una onda de luz guarda relación con lo que hemos dado en llamar su *intensidad*.

Del mismo modo, existe una diferencia entre las olas del mar espaciadas por varios cientos de metros y aquellas que avanzan muy juntas. Esa distancia recibe el muy apropiado nombre de *longitud de onda*. Cuanto más larga es, menor es el número de ondas que llegan durante un período de tiempo determinado: esa cifra guarda relación con la *frecuencia* de la onda. Para entender intuitivamente que, cuanto más corta es la longitud de onda (o más alta la frecuencia), mayor es la cantidad de energía presente, puedes imaginar que estás frente a una presa: mientras que una ola de cinco metros de altura que batiese contra la presa una vez al mes no te preocuparía excesivamente, una parecida que chocase contra la presa diez veces por segundo sí te alarmaría. Lo mismo pasa con la luz: cuanto más corta es la longitud de onda (o más alta la frecuencia), mayor es la cantidad de energía que arrastra la onda.

Bien: a diferencia de lo que creían nuestros antepasados, nuestros ojos son receptores, y no fuentes, de luz. Y no están hechos para detectar todos los tipos de luz que existen, ni en intensidad ni en longitud de onda. Una fuente lumínica excesivamente potente arrasaría con tus retinas y te dejaría ciego en segundos. Es lo que sucede si miras fijamente el Sol, algunos láseres o cualquier fuente de luz demasiado intensa. Solo podemos ver las ondas de luz que no son ni excesivamente intensas ni demasiado tenues.

La limitación de nuestros ojos respecto a la longitud de onda es más sutil. A lo largo de los milenios de evolución de nuestros antepasados (y entre ellos incluyo a los que existieron antes de tener forma humana), sus órganos de

detección de la luz se adaptaron para ver lo que más necesitaban para sobrevivir. Para hacerse con fruta o detectar la presencia de un tigre de dientes de sable, era más útil ver los colores verde, rojo o amarillo que los rayos X que emitían las estrellas fugaces próximas a distantes agujeros negros. En resumen: nuestros ojos se adaptaron a la luz que más necesitábamos en nuestra vida cotidiana. De haber sido capaces de ver únicamente rayos X, hace tiempo que nos habríamos extinguido.

Y así, la situación actual es que nuestros ojos tienen un alcance bastante limitado, si consideramos todos los tipos de luz natural que existen. Pero eso al universo le da igual. Está lleno de todas esas luces. Una vez más hemos encontrado un nombre muy apropiado para esas luces que podemos ver (luces *visibles*) y a determinados grupos de ellas les hemos dado incluso nombres individuales: los colores. La distinción entre un color y otro a veces parece arbitraria, pero existe una definición matemática muy precisa, basada en su longitud de onda.

Es un hecho que los ojos de otros animales han evolucionado de manera distinta y que algunos son capaces de ver luces que escapan ligeramente a lo que los humanos somos capaces de percibir. Las serpientes, por ejemplo, tienen visión infrarroja y algunas aves pueden detectar la luz ultravioleta, dos ejemplos de ondas que escapan a la capacidad de nuestros ojos.^[14] Pero ningún animal ha construido instrumentos para detectarlas todas. Excepto nosotros. Y eso se nos da bastante bien.

Ordenadas de menor a mayor grado de energía, las luces que nos rodean son: las ondas de radio, las microondas, la luz infrarroja, la luz visible, la luz ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma. Las ondas de radio tienen una longitud de onda muy larga, entre 1 metro y 100 000 kilómetros o más entre onda y onda, y en el caso de los rayos gamma la longitud de onda es inferior a la milmillonésima parte de un milímetro, pero todas son luz. Y todos los telescopios construidos hasta ahora han sido diseñados para captarlas, independientemente de su procedencia e intensidad, para dejar que nos asomemos al universo a través de las distintas ventanas que nos abre nuestra tecnología. Cuando contemplas el cielo, tanto si es a simple vista o a través de un telescopio, estás capturando y procesando ondas de luz emitidas en el espacio exterior por una fuente remota. Como te dije anteriormente, durante la primera parte de este libro viajaste a través de una reconstrucción tridimensional de todas esas imágenes que hemos ido registrando y comunicando. Sin embargo, puede que en ese momento no te dieras cuenta de

que, si bien emprendiste un viaje a través del espacio, también lo fue a través del tiempo, ya que la luz no se desplaza instantáneamente.

Mira, esa es una pregunta interesante, aunque un tanto deprimente, que quizá te hagan tus amigos de la isla tropical: ¿verdad que todos, en algún momento u otro de una cena u otro acontecimiento social, hemos oído decir que las estrellas que vemos en el firmamento están todas extinguidas?

¿Es eso cierto? ¿Están muertas las estrellas?

Pues... No. No lo están. Al menos no todas. Ahora lo veremos.

Vamos a suponer que una de tus tías abuelas, una pariente lejana a la que le gusta regalar jarrones espantosos a todo el mundo por Navidad, vive en Australia, concretamente en Sídney. Siendo como es una mujer chapada a la antigua, nunca manda noticias de sí misma a nadie excepto el día de su cumpleaños, en enero, cuando le envía a todo el mundo una foto de sí misma junto al buzón en el que está a punto de meter la foto. En el reverso de la postal escribe siempre lo mismo:

Hoy es mi cumpleaños.

Me encantaría oír tu voz.

Tu tía que te quiere.

Posdata: espero que te gustase el jarrón que te envié.

El problema está en que cada año te prometes que te acordarás de ella, pero no lo haces, y, como sucede siempre, cuando recibes la postal para ella ya no es *hoy*. Puede que ni siquiera sea enero. Y, como siempre, cruzas los dedos esperando que no se haya pasado el día entero junto al teléfono...

En cualquier caso, lo importante en esta historia es que es muy poco probable que la foto que se sacó a sí misma antes de enviar la postal, esa foto que tienes ahora en la mano, se corresponda con el aspecto que tiene *ahora*. Dada la poca información de que dispones, puede que incluso esté muerta, igual que algunas de las estrellas en el firmamento. No te preocupes: tu tía abuela está perfectamente, recibirás unos cuantos jarrones más y aún tendrás unas cuantas oportunidades más de convencerla de que se deje de postales y utilice el correo electrónico. Esa sería una opción más rápida, pero no sería instantánea. Nada es instantáneo. Con el correo electrónico, recibirías su foto algunas décimas de segundo después de que la enviase, con lo que una vez más existe la posibilidad de que haya muerto antes de que la recibas.

Con esto no pretendo sumirte en la paranoia ni hacerte creer que todas las personas que conoces han muerto. Intento más bien explicar lo que sucede en el espacio, donde el servicio de mensajería más rápido que existe utiliza la luz como instrumento de comunicación. Y esta, pese a ser muy rápida, está muy lejos de moverse instantáneamente. En el espacio exterior alcanza la inigualada, inigualable y vertiginosa velocidad de 299 792,458 kilómetros *por segundo*. La luz podría dar 26 veces la vuelta a la Tierra en el tiempo que te ha llevado leer esta frase. Es muy rápida, lo más rápido que existe, pero asombrosamente lenta si se consideran las distancias intergalácticas que estamos manejando.

Cuando una estrella brilla, su luz transporta una imagen de sí misma. Esta última avanza por el espacio a la velocidad de la luz y puede tardar mucho tiempo hasta que llega a nosotros. Eso significa que, efectivamente, es probable que las estrellas más distantes de nuestro firmamento se hayan extinguido ya. Pero no es el caso de todas ellas. El Sol, por ejemplo, todavía existe. Para ser más precisos, no sabemos qué tal le va ahora mismo pero hace ocho minutos y veinte segundos no se había extinguido.

Como vimos en la primera parte, la luz del Sol tarda unos ocho minutos y veinte segundos en recorrer los 150 millones de kilómetros que nos separan de él. Esto significa que si el Sol dejase de brillar en este preciso instante, tendríamos noticia de ese (considerable) problema en ocho minutos y veinte segundos. Significa también que desde la Tierra siempre veremos el Sol tal y como era hace ocho minutos y veinte segundos, y no como es *ahora mismo*. El Sol que reluce en lo alto de un día soleado nunca es tal y como lo ves *cundo* lo ves. Ni siquiera está donde lo ves. Durante los ocho minutos y veinte segundos que tarda en llegar a bañar tu piel, el Sol habrá recorrido aproximadamente 117 300 kilómetros en su órbita alrededor del centro de nuestra galaxia.

La luz más distante que hemos sido capaces de detectar en nuestro universo ha tardado 13 800 millones de años en llegar a nuestros telescopios, directamente desde el instante en que nuestro universo se hizo transparente.

Las enormes estrellas que empezaron a brillar unos pocos centenares de millones de años después de aquel momento han dejado de existir con casi total seguridad, pese a que su luz nos llega ahora y las hace visibles a nuestros ojos.

Puede decirse lo mismo de muchas otras estrellas situadas entre el Sol y los confines más lejanos de nuestro universo.

El 24 de enero de 2014, por ejemplo, los astrónomos vieron cómo una estrella explotaba en el firmamento nocturno en una galaxia muy, muy lejana. Lo vieron en directo, a medida que la luz de la explosión llegaba hasta sus telescopios. Por lo que a nosotros respecta, la estrella se apagó el 24 de enero de 2014. Pero alguien que viviese junto a ella habría presenciado la explosión tal y como se produjo in situ... hace 12 millones de años.



Nadie puede viajar al otro lado del universo. Nadie puede teletransportarse hasta allá de manera instantánea. Bien mirado, explorar el cielo nocturno es como recibir postales individuales desde todos los puntos del firmamento, selladas en distintos lugares y momentos de la historia de nuestro universo, en función de cuándo y cómo emprendieron su viaje. Solo cuando combinamos el conjunto de esas postales desde las márgenes mismas del tiempo podemos reconstruir un mero fragmento del universo al que pertenecemos tal y como lo vemos desde la Tierra.

En la primera parte del libro viajamos a través de ese fragmento.

Hasta septiembre de 2015, si queríamos obtener información sobre el espacio exterior, la tecnología de que disponíamos no ofrecía muchas alternativas: había que usar la luz, sí o sí. No había otra forma de asomarse a los confines del cosmos. Eso ha cambiado, sin embargo. Ahora contamos con una herramienta capaz de detectar señales que hasta ahora nos habían sido esquivas. Una señal que se vale de la luz para viajar. El 11 de febrero de 2016 saltaba la noticia: se habían detectado, medido y analizado ondas en el tejido mismo que compone el universo. Se trataba de ondas no compuestas de luz. Como verás en breve, estaban compuestas de espacio y tiempo, que las ondas estiraban y comprimían a medida que fluían a través de todo a la velocidad de la luz. Los nuevos y especiales detectores de ondas han abierto una ventana a través de la que podemos explorar nuestra realidad: ahora estamos en condiciones de percibir cosas que no podemos ver mediante la luz. Y si te estás preguntando de qué se trata... No irías desencaminado si piensas en agujeros negros y el Big Bang.

Es cierto que todavía no sabemos qué percibirá este nuevo ojo. Por eso, antes de ponerte a aprender más sobre esas ondas y el desorbitado poder de

sus fuentes, veamos qué es lo que hemos podido comprender capturando las luces que llegan hasta nosotros desde el espacio exterior.

5

Expansión

Repito: a día de hoy, todo lo que sabemos del universo remoto proviene de la luz que llega hasta nosotros.

Para descifrarla y entenderla tenemos que descubrir exactamente qué información transporta la luz y cómo interactúa con la materia y los componentes de esta (los átomos) que encuentra a su paso en el espacio.

En capítulos posteriores de este libro te sumergirás directamente en el corazón de los átomos, pero de momento no necesitas saber nada sobre ellos. Dejémoslo en que los átomos pueden describirse como núcleos redondos rodeados por electrones rotatorios, y que estos últimos no están desperdigados al azar, sino organizados en capas alrededor del núcleo.

Resulta tentador imaginarlos como planetas que giran en torno a una estrella central, pero eso llevaría a confusión: de hecho, a las trayectorias de los electrones alrededor del núcleo del átomo las llamamos *orbitales* para distinguirlas expresamente de las órbitas planetarias.

A la velocidad adecuada, en teoría, un planeta puede orbitar alrededor de su estrella a la distancia que le plazca, pero ese no es el caso de los electrones. A diferencia de las órbitas planetarias, los orbitales electrónicos están separados por zonas de exclusión, espacios en los cuales los electrones simplemente no pueden estar. Además, los electrones pueden saltar con facilidad —en ocasiones, incluso espontáneamente— por encima de esas zonas prohibidas, de un orbital a otro.

Sin embargo, y esto es lo que nos interesa, esos saltos no se producen gratuitamente.

Para pasar de un orbital a otro, los electrones tienen que absorber o emitir algo de energía.

Y puesto que cuanto más alejado está un electrón de su núcleo, mayor es la energía que transporta, para que un electrón salte de un orbital a otro más alejado tiene que ganar algo de energía, un poco como la llamarada con la que un globo aerostático gana algo de altitud.

Inversamente, para acercarse al núcleo el electrón tiene que emitir algo a fin de deshacerse de parte de su energía, como cuando un globo suelta aire caliente para dejarse caer hacia la Tierra.

¿De dónde sale esa energía?

Precisamente ahí es donde entra en juego la luz: los electrones pueden saltar de un orbital a otro absorbiendo o emitiendo algo de luz. Pero no cualquier clase de luz.

Para pasar de un orbital a otro, los electrones tienen que saltar por encima de las zonas de exclusión electrónica que los separan y, para lograrlo, deben absorber o emitir una cantidad específica de energía que se corresponde con un rayo de luz específico. Si la luz que reciben no contiene la energía suficiente, los electrones no podrán dar el salto y permanecerán donde están. Del mismo modo, si los alcanza un rayo de luz excesivamente cargado de energía, podrían saltar por encima de varias zonas, e incluso verse expulsados del átomo al que pertenecen.

La humanidad llegó a esta conclusión a comienzos del siglo xx.

Quizá no te parezca algo sensacional, pero lo es.

Einstein (que desde luego era el perejil de todas las salsas) recibió el premio Nobel de física en 1921 por descubrir esto mismo a propósito de los átomos que componen varios metales.^[15]



Tras décadas de experimentos (y reflexiones) realizados desde entonces sobre todos los átomos conocidos del universo, los científicos comprendieron que la energía necesaria para que un electrón se traslade de un orbital a otro en cualquier tipo de átomo corresponde específicamente al átomo del que forma parte. Y esto es una enorme suerte para nosotros, porque las diferentes energías se corresponden con distintas fuentes de luz, y mediante nuestros

telescopios, evidentemente, podemos captar la luz procedente de casi cualquier lugar.

Esta sencilla circunstancia significa que los científicos son capaces de saber de qué están compuestos objetos lejanos como las estrellas o las nubes de gas, o incluso las atmósferas de planetas lejanos, sin necesidad de viajar hasta ellos.

Ahora te explico cómo.

Imagina una fuente de luz perfecta, una que emita luces en todas las longitudes de onda posibles, desde las menos potentes (microondas) hasta las más cargadas de energía (rayos gamma), en todas direcciones. Esa fuente perfecta crea una reluciente esfera lumínica. Si a cierta distancia se encuentra un átomo, sus electrones, cegados por toda la luz que llega hasta ellos, absorben desaforados todas las que necesitan para saltar a un orbital más cargado de energía. Y cuando lo hacen se excitan.

¿Cómo que «se excitan»?

Sí, sí. Se excitan. Ese es el término técnico concreto con el que se describe lo que sucede entonces.

Es un poco como cuando a los niños se les ofrecen dulces en una fiesta.

Y así como no resulta difícil saber a posteriori qué dulces prefieren los niños (basta con comprobar cuáles no se han comido), es posible deducir qué tipos de luz se ha tragado el átomo examinando cuáles están ausentes en su sombra. Toda la luz no consumida atraviesa indemne el átomo, y resulta sencillo detectar su característica longitud de onda. Las ausentes, en cambio, aparecen como pequeños borrones oscuros en lo que, por lo demás, era un arcoíris continuo de colores y luz. Esa imagen recibe el nombre de *espectro*, [16] mientras que los borrones oscuros se conocen como *líneas de absorción*.

Los científicos son capaces de discernir qué átomos se interponen en el recorrido de una fuente de luz simplemente fijándose en las longitudes de onda ausentes en un espectro.

De este modo, valiéndote de la luz puedes descubrir qué tipo de materiales hay ahí fuera sin necesidad de llegar hasta su ubicación.

Y todos los telescopios que captan luz y que la humanidad ha utilizado hasta ahora nos dicen que todas las estrellas del universo están hechas de la misma materia que el Sol, la Tierra y nosotros mismos. Todos los objetos cósmicos del firmamento nocturno están hechos de los mismos átomos que nosotros.

Si no fuera así, nuestros telescopios nos lo dirían.

Por eso, podemos imaginar que las leyes que gobiernan la naturaleza son las mismas en todas partes.

Y por eso todo el mundo considera que el primer principio cosmológico es correcto.

Menos mal, ¿no?

En realidad, es una noticia tan excelente que, ya que estás en el espacio exterior, decides echarle otro vistazo a las remotas galaxias para descubrir por ti mismo de qué están hechas. ¡Y qué bonitas son, con todos esos hermosos espectros cargados de líneas correspondientes al hidrógeno, al helio y a...!

Un momento.

Espera.

Algo no cuadra...

Al examinar los espectros que has ido recabando, observas que las longitudes de onda ausentes en la luz que procede de estrellas remotas están ahí, sí, pero no donde deberían estar...

Así como los electrones de algunos elementos químicos en la Tierra se excitan en presencia de la luz azul, esos mismos electrones en idénticos elementos químicos de galaxias remotas parecen preferir tonalidades algo más verdosas para saltar de un orbital a otro...

Y los átomos que se pirran por el amarillo en la Tierra optan por luces más anaranjadas en cualquier otro lugar.

Y las que aquí absorben el naranja consumen el rojo en otros sitios.

¿Por qué? ¿Cómo puede ser?

¿Hay una desviación cromática en el espacio exterior?

¿O nos hemos equivocado en algo?

Contemplas de nuevo las distintas fuentes remotas. No hay duda: todos los colores tienden al rojo.

Pero eso no es todo: cuanto más lejana es la fuente de luz, más acusada es esa tendencia...

¡Maldición! Con lo fácil que era todo.

¿Qué está pasando?

¿Al final resulta que las leyes de la naturaleza son diferentes en distintas áreas del universo? Si pudieras salir a pasear por un planeta similar a la Tierra, uno que orbitase en torno a una estrella parecida al Sol a miles de millones de años luz de aquí, ¿verías cielos y océanos y zafiros verdes? ¿Serían las plantas y las esmeraldas amarillas, y los limones rojos?

Pues... no.

Si has viajado hasta allí, habrás visto que ese mundo extraterrestre es igual que el tuyo, y que los limones son amarillos y el cielo, azul. El motivo de esa desviación observada en los colores no se debe a que las leyes de la naturaleza cambien lejos de donde estamos. Va mucho más allá. De hecho, cambió todo lo que la humanidad había creído durante más de dos mil años.

¿Alguna vez has afinado una guitarra o cualquier otro instrumento de cuerda? ¿Te has fijado en la nota que emite una cuerda cuando se ajustan las clavijas? Cuanto más se tensa la cuerda, más agudo es el sonido que emite, ¿verdad?

Bueno, pues lo que has visto en el cielo es el mismo fenómeno, solo que aquí el sonido se sustituye por la luz, y la cuerda no es una cuerda. En el espacio, la luz no viaja —mejor dicho, se propaga— por una cuerda, sino a través del tejido mismo del universo. Y para explicar el cambio cromático que acabas de detectar, hace falta hablar de ese tejido.

¿Por qué?

Pues porque para que el cambio afecte de manera idéntica a todos los colores posibles, no puede buscarse la causa en la propia luz, sino más bien en el medio a través del cual se desplaza.

Tañe una cuerda y ténsala con la clavija, y el sonido que emite será más agudo, no porque algo le haya sucedido al sonido, sino porque se ha tensado la cuerda. Y la cuerda de una guitarra se tensa de la misma manera para todas las notas.

Ahora imagina que puedes tensar el tejido del que se compone el universo del mismo modo en que lo harías con las cuerdas de una guitarra. Ténsalo, y todas las longitudes de onda de toda la luz que se propaga por él serán de inmediato más agudas. ¿Por qué? Porque la luz puede considerarse una onda y la tensión incrementaría la distancia entre dos crestas consecutivas, es decir, la longitud de onda. El azul pasa a ser verde; el verde pasa a ser amarillo; el amarillo, rojo, etcétera.

En un espectro, eso significa que los colores reales del universo se desplazan hacia el color rojo. Se produce un *desplazamiento al rojo*.

Y ahora, en vez de tensar una vez el tejido de nuestro universo, imagina que de alguna manera se está tensando de manera continua y constante. Cuanto más lejos haya partido de su viaje la luz, mayor será el desplazamiento al rojo al que habrá estado sometida antes de alcanzar la Tierra. En una situación hipotética que tuviese su origen muy, muy lejos de aquí, la luz azul poco a poco iría volviéndose verde, luego amarilla, después

roja y, más tarde, invisible a nuestros ojos; infrarroja, y posteriormente microondas... Si supieras en qué grado difieren los colores que emite una estrella distante respecto a cómo se reciben en la Tierra, estarías en condiciones de determinar a qué distancia se encuentra esa estrella.

Pero ¿es eso cierto? ¿Es así como se comporta el tejido del universo?

Pues sí. Eso es exactamente lo que has visto en el cielo.

¿Y qué significa eso en la práctica?

Significa que la distancia real entre las galaxias distantes y nosotros aumenta constantemente. Significa que el espacio se estira, y consecuentemente crece por su cuenta, entre las galaxias. Significa que, con el tiempo, nuestro universo cambia.

Infinidad de experimentos han confirmado este extremo, y los científicos han aprendido a aceptar la idea de que vivimos en un universo cambiante y creciente.

A Einstein, sin embargo, no le hacía ninguna gracia. A nadie le gustaba demasiado aquello hace un siglo. Para nuestros antepasados, fueran o no científicos, el universo había sido siempre el mismo. Pero se equivocaban.

Que quede clara una cosa: no es que las galaxias se alejen de nosotros, sino que la distancia que nos separa de galaxias ya de por sí remotas está aumentando. Es el vacío mismo del espacio el que se estira. Los científicos han bautizado este fenómeno y lo han llamado la *expansión del universo*, y a diferencia de lo que uno podría llegar a pensar, eso no significa que el universo se expanda *hacia algo*. Significa que se expande y crece desde dentro.

Antes de sacar conclusiones precipitadas y preguntarnos qué podría haber causado semejante expansión, quizá quieras comprobarlo por ti mismo. Imagina que eres tan rico como se puede ser (pongamos que tienes cien mil millones de libras en el banco, por ejemplo) y que tienes cien amigos. El universo pica tu curiosidad, y decides dar a cada uno de ellos mil millones de libras para que construyan un potente telescopio moderno y recorran la Tierra de una punta a otra para recabar toda la luz procedente de todas las galaxias remotas que sea posible.

Algunos meses más tarde, los invitas a tu mansión para que presenten los resultados de su trabajo. Más o menos la mitad eran amigos de verdad y hacen acto de presencia (y te puedes dar con un canto en los dientes), mientras que la otra mitad prefiere quedarse con el dinero. Pero, tanto da, porque todas sus

historias son idénticas. Allá donde fueron —China, Australia, Europa, el centro del Pacífico o la Antártida—, todos los que volvieron a tu lado vieron el mismo fenómeno en el cielo: por encima de sus cabezas, las galaxias remotas experimentaban un extraño corrimiento cromático. Todas retrocedían en la distancia. Y cuanto más lejanas estaban, más rápido se alejaban. Todos fueron testigos de la expansión del universo.

¿Qué conclusión podemos sacar de todo ello?

Mientras reflexionas, en tu cabeza se abre paso de nuevo aquella idea tan curiosa que ya te asaltó en el apartado anterior de este libro.

Primero fue ese extraño universo visible que era una esfera a tu alrededor, y ahora esto...

¿Será cierto?

Si todo y todo lugar se alejan de la Tierra, ¿significa eso que todas las madres de la Tierra tienen razón cuando piensan que su bebé es el centro del universo?

Por muy asombroso que pueda antojarse, parece que así es. Qué noticia más encantadora; qué día tan glorioso.

Si tienes amigos cerca mientras lees esto, podéis descorchar una botella de champán. Resulta que sí somos algo especial. Y especialmente tú.

¡Reivindicados por fin! Copérnico se equivocaba. Tendría que haber oído a su madre. Las madres siempre tienen razón. Los ocupantes de la Tierra estamos todos en el centro de nuestro universo.

Pero espera, espera, espera...

¿Qué hay de las madres en otros planetas distantes, en otras galaxias?

Si existen y piensan como las nuestras, ¿se equivocan ellas con respecto a sus hijos?

¿O es eso prueba de que no hay madres en ningún otro lugar? No será eso, ¿verdad?

Pese a lo que acabas de ver, y del mismo modo que Copérnico nos dijo hace 400 años que no estamos en el centro del sistema solar, la mayoría de los científicos (si no todos) dan por sentado que nuestra posición en el universo no tiene una importancia mayor que cualquier otra. Curiosamente, eso no significa que no estemos en el centro de nuestro universo visible. Sí que lo estamos. Pero también lo está cualquier otro lugar. Todo lugar es el centro del universo que puede verse desde él.

Esta arraigada convicción llevó incluso a los científicos a plantear los siguientes principios cosmológicos adicionales:^[17] para imaginar lo que sucede en puntos muy, muy lejanos de nuestro planeta, los científicos asumen que no existe ninguna posición preferencial —ese es el **segundo principio cosmológico**— y que si un observador concreto se pusiese a viajar, todas las direcciones le parecerían siempre iguales, puesto que las galaxias distantes se alejarían de su posición, del mismo modo que lo hacen de nosotros en la Tierra: ese es el **tercer principio cosmológico**.

Si te paras un instante a pensar en ello, mientras tus amigos renuncian a la idea del champán, verás que la regla cosmológica número tres suena trivial y errónea.

El mundo, evidentemente, no tiene el mismo aspecto desde donde estás leyendo ahora este libro que desde la ducha (suponiendo, claro, que no estés leyendo esto mientras te duchas). Por eso hace falta clarificar un punto: el tercer principio cosmológico no se interesa por lo que tienes cerca. Atañe solo a la gran escala. Hablamos de escalas mucho mayores que las galaxias. Lo que dice es que el universo, a escalas desmesuradamente grandes, es muy parecido desde dondequiera que se mire.

Pero aun así sigue sonando raro, ¿verdad? ¿No viajaste por el universo en la primera parte del libro? ¿No viste lugares muy lejanos que no se parecían al universo observado desde la Tierra? Cruzaste incluso una zona del espacio de varios miles de años luz de grosor en la que no brillaba estrella alguna, lo que llamamos la Edad Oscura cósmica. ¿Cómo va a tener el mismo aspecto el universo visto desde la Tierra y desde un lugar en el que no hay una sola estrella?

Bien: es hora de que comprendas de verdad a qué me refiero cuando digo que en la primera parte no viajaste por el universo tal y como es, sino a través del universo *tal y como es visto desde la Tierra*. No es exactamente lo mismo. Recuerda: el universo que se aparece por la noche no se corresponde con lo que nuestro universo es *ahora*. Se corresponde con una porción de su historia pasada, una historia centrada en la Tierra porque estamos en la Tierra. Cada día recibimos imágenes y postales procedentes de todas partes. Según la regla cósmica número tres, los habitantes de un mundo remoto deberían ver un universo exactamente similar al que observamos nosotros. No en el detalle, por supuesto, pero sí a gran escala. También ellos estarían rodeados por la suma de toda la información que llega hasta ellos desde su pasado y asimismo verían en el firmamento nocturno un fragmento de la historia de nuestro universo común. Tendrían sus propias Edades Oscuras del universo y

superficie de última dispersión. Lo tendrían todo, incluso si su porción no se solapase con la nuestra.

Al final, para entender nuestro universo y captar la imagen en su conjunto, es preciso sumar todas las historias pasadas de todos y cada uno de los puntos del universo. Los lugares que estén cerca entre sí tendrán historias con muchas coincidencias, claro, pero las historias de aquellos lugares separados por grandes distancias espaciales quizá no se solapen de ninguna manera. Aun así, deberíamos considerarlos a todos equivalentes. A eso se refiere la regla cósmica número tres en la práctica. Más adelante leerás más sobre ella.

A propósito, esto significa también que, pese a que no ocupas una posición especial en tu universo, sigues siendo (tal y como tu madre supo siempre con certeza) el centro de tu universo visible.

Y si tienes la sensación de haberlo sabido siempre, deja que la alegría inunde tu cuerpo y alma. Es una magnífica noticia.

Repito: estás en el centro del universo.

Lo que quizá te agüe un poco la fiesta es que tu vecino y tu vecina también: ellos, igualmente, están en el centro de sus respectivos universos visibles.

Y lo mismo pasa con todo el mundo, y con todo.

Todo y todos estamos en el centro de nuestro universo, el universo que podemos explorar con la luz que llega hasta nosotros. Solo en ocasiones muy, muy especiales pueden corresponderse a la perfección los universos visibles de dos personas. A ti te dejo la tarea de imaginar cuándo y cómo puede suceder eso.

Y una vez dicho esto, es hora de examinar con algo más de detenimiento esa expansión que estira el universo.

¿De verdad es eso lo que está pasando?

Pues sí. Las distancias entre galaxias lejanas se expanden constantemente. No es algo que afecte a objetos cercanos, sin embargo, porque a escala local la gravedad es más fuerte. Las galaxias crean una atracción gravitacional que contrarresta esa expansión, tanto dentro de sus confines (la distancia entre el Sol y las estrellas cercanas no se expande) como a su alrededor (de hecho, las galaxias vecinas se acercan cada vez más unas a otras, también de manera constante). Pero en las distancias muy grandes, sin embargo, la expansión se impone.

El descubrimiento de la expansión del universo corrió a cargo del astrónomo estadounidense Edwin Hubble en 1929, y la ley que vincula la forma en que las galaxias se alejan de nosotros recibe el nombre de *ley de Hubble*. Sobre la base de este descubrimiento, podemos considerar con todo merecimiento que Hubble es uno de los padres de la cosmología observacional moderna. Es también la persona que, junto a Ernst Öpik, demostró que la Vía Láctea no es el conjunto del universo y que existen otras galaxias más allá de sus confines. Dos descubrimientos que, de haberse producido en nuestra época, bien valdrían un premio Nobel. En aquel entonces, sin embargo, ni la comunidad de físicos ni el comité de los premios consideraba que contemplar las estrellas e intentar desentrañar sus secretos formase parte de la física. Como consecuencia de ello, Hubble nunca ganó el Nobel. Pero las normas del premio cambiaron tras su muerte y, desde entonces, más de un observador del cosmos ha recibido el galardón. En este libro hablaremos de algunos de ellos.

Ahora que estás a punto de comprender una extraordinaria consecuencia de la ley de la expansión de Hubble, tal vez te asombre lo inteligentes que pueden llegar a ser a veces los científicos. Con mucho escurrir de meninges y cantidades ingentes de café, llegaron a la conclusión de que si todo lo que está lejos de nosotros en nuestro universo se aleja de nosotros es porque todo lo que ahora está lejos tuvo que estar más cerca en el pasado.

Toma.

Toma deducción revolucionaria.

Intenta un día de estos llevar a cabo ese razonamiento por tu cuenta: es bastante satisfactorio.

En realidad, y pese a que no parece gran cosa, fue una revelación mayúscula.

He mencionado antes que el mismísimo Einstein se negaba a creerlo.

¿Por qué?

¿Qué más da si las galaxias remotas se alejan de nosotros o si en el pasado han podido estar más cerca?

Recuerda que la ley de Hubble, basada en sus observaciones, establece que lo que se expande es la distancia entre las galaxias, y no que estas últimas se alejen las unas de las otras.

Dicho de otra manera, lo que se expande es el tejido del universo.

Si desarrollamos esta idea, resulta de cajón pensar que el conjunto del universo era de menor tamaño en el pasado.

¿Cómo es eso posible?

¿Y cómo puede demostrarse?

Pues se puede, si miramos muy, muy a lo lejos. El pasado está ahí, y podemos recibir sus mensajes. Y el muro que viste al final del universo visible lo confirma de manera brillante (por muy oscuro que sea), y veremos cómo de aquí a dos capítulos. Sin embargo, primero tenemos que viajar de nuevo al espacio exterior para familiarizarnos mejor con la gravedad.

6

Sentir la gravedad y sus ondas

De las cuatro fuerzas fundamentales que gobiernan nuestro universo, la gravedad es quizá la que más presente tenemos.^[18] Cada vez que te caes, usas los músculos de las piernas para incorporarte o cada vez que levantas algo, tu cuerpo toma conciencia de la existencia de la gravedad.

La gravedad afecta a todo.

Pero todo *crea* también gravedad. Tú también, y los jarrones de cristal que tu tía abuela de Sidney insiste en regalarte por Navidad.

A propósito: imagina que tienes uno de esos jarrones contigo en la isla.

Obsérvalo.

Y ahora déjalo caer sobre una superficie dura.

Caerá y se hará añicos.

Puedes incluso imaginar que dejas caer la colección entera de jarrones contra una superficie dura en cualquier punto de la Tierra que se te ocurra.

Sorprendentemente, siempre se caerán al suelo. Y se romperán. Dondequiera que estés.

Bien.

Con el experimento no solo te desharrás de los jarrones, sino que además demostrarás que, siempre que sea más denso que el aire, un objeto soltado sobre la Tierra caerá, tal y como Newton (y como cualquiera que no esté loco) ha tenido claro desde siempre.

¿Y qué pasa con los objetos más ligeros^[19] que el aire? ¿Por qué los globos de helio ascienden en lugar de caer? ¿Es que no les afecta la gravedad de la Tierra?

Sí les afecta. Pero hay competencia.

Siempre que la Tierra atrae hacia sí algún objeto, los más densos tienden a asentarse en las capas más bajas. Si los objetos más ligeros que el aire parecen

flotar hacia arriba, es porque el aire que tienen encima es más denso y ocupa su lugar. Si el aire fuese visible, podrías observar esto. Pero resulta que no lo es, y que lo único que ves es el resultado: los objetos más ligeros que el aire se ven empujados hacia arriba por el aire invisible que se acumula bajo ellos. La gravedad es siempre atractiva. Siempre hace que las cosas caigan. Pero la competencia crea capas, y algunos objetos han de moverse hacia arriba para dejar hueco a los más densos.

Teniendo esto presente, podemos imaginar la Tierra como una enorme bola con una enorme cantidad de cosas adheridas a su superficie a consecuencia de la pronunciada curva que crea a su alrededor en el tejido de nuestro universo. Todos los objetos que has visto en tu vida se deslizan por esa curva; tú mismo lo haces hasta que el suelo, o cualquier otro objeto más denso, os impide seguir deslizándoos. Las rocas de la corteza terrestre son más densas que el agua y, por eso, el océano se extiende por encima del lecho rocoso del fondo marino. Las rocas y el agua son más densas que el aire y, por eso, la atmósfera flota sobre la superficie del planeta, tanto de la parte líquida como de la sólida.

Nosotros, los humanos, vivimos bajo aproximadamente cien kilómetros de aire adherido a la superficie del planeta. Somos más densos que el aire. No volamos. Pero somos más ligeros que el suelo y, por eso, permanecemos encima de él. A veces, algunos objetos o animales consiguen alejarse del suelo y vuelan por los aires, pero eso conlleva un dispendio de energía y por lo general no tardan mucho en regresar al suelo, a menos, claro, que sean más ligeros que el aire, algo de lo que no hay constancia y que, la verdad sea dicha, sería una circunstancia bastante desafortunada para cualquier animal.

Siguiente pregunta: ¿cómo encajaría todo entre sí de no existir la Tierra?

Es domingo por la mañana en tu isla tropical. Tus amigos te han traído el desayuno cada mañana desde tu extraño viaje mental, y es evidente que cada vez sienten más curiosidad por tu historia. Algunos incluso empiezan a preguntarse si de verdad viste lo que insistes en decir que viste. Otros tienen problemas para conciliar el sueño por la noche, preocupados por la muerte del Sol. Ya es mala suerte, además, porque esos son los que han andado buscando formas de conseguir que dejes de hablar de ello constantemente. Y parece que han encontrado una.

Abres los ojos.

Motas de polvo centellean en el aire bañadas por los rayos del Sol matutino, pese a que ellas también están sometidas a la gravedad, piensas justo en el momento en el que alguien llama a tu puerta.

—Adelante —dices, te incorporas en la cama y esperas ver a uno de tus amigos, y quizás una bandeja con fruta y una taza de café.

Se abre la puerta y la que aparece en el umbral es tu tía abuela de Sidney.

Junto a ella tiene tres bolsas, las tres llenas de jarrones de cristal. Parece imposible, pero son incluso más feos que los que has querido destrozar en tus experimentos sobre la gravedad.

Sin que le importe en absoluto que estés en la cama, tu tía abuela entra, te da unos cachetitos en la mejilla y te tiende uno de los jarrones con una sonrisa y una mirada comprensiva, consciente de que las palabras serían inútiles para expresar tu alegría ante su sorpresiva visita.

Con el jarrón en las manos, cierras los ojos para mantener la calma y deseas desesperadamente estar en cualquier otro lugar.

Y cuando vuelves a abrirlos, resulta que estás en otro sitio.

Un sitio muy distinto.

En el espacio exterior.

La residencia de vacaciones, los rayos de Sol, la cama, tu tía abuela... Todo ha desaparecido.

Vuelves a estar entre las estrellas, al igual que en la primera parte, pero ahora todo parece mucho más seguro que entonces.

No puedes reprimir una sonrisa de oreja a oreja mientras miras a tu alrededor.

Ni rastro de explosiones inmediatas, ni de una Tierra derretida.

Todas las estrellas están lejos, muy lejos, y todo está en calma.

Flotas en medio de una oscuridad aparentemente infinita, tachonada de luces diminutas.

En la primera parte de este libro, cuando te encontraste en el espacio, eras tan solo una mente. Si descontamos el momento en el que te viste expulsado de un agujero negro, no sentiste nada. Esta vez, sin embargo, vas a experimentar algo diferente. Sigues embarcado en un viaje mental, pero esta vez no has dejado atrás tu cuerpo. Está aquí, envuelto en el manto protector de un traje espacial, y descubre ahora la sensación de la ingravidez.

Es todo tan real que sientes ciertas náuseas, pero te repones pronto y, en algún momento, te das cuenta de que, pese a que tu tía abuela ya no anda cerca, sigues sosteniendo el jarrón que te ha dado hace un momento.

Miras en derredor sonriente, pero no hay nada contra lo que estrellarlo. No hay Tierra. No hay estrella.

Poniendo al mal tiempo buena cara, decides llevar a cabo otro experimento gravitatorio.

Abres la mano, con el brazo extendido, y sueltas el jarrón. Tu percepción es que el jarrón se queda justo donde estaba. Pasa un minuto, y luego otro. Y entonces, de repente, después de que pase otro minuto, un minuto más ha pasado sin que suceda nada.

Aunque puede que el jarrón se te haya acercado un poquito, pero no mucho. No tanto como para mencionarlo.

Al final, harto de contemplar ese adefesio, le das un empujoncito con el dedo y observas cómo se aleja lentamente en lo que parece una línea recta. Hasta nunca, jarrón.

Si no lo hubieras empujado, el jarrón se habría quedado junto a ti. No habría caído. ¿Hacia qué, además? Sin un planeta o una estrella cerca, no existe la noción de arriba o abajo, ni de izquierda o derecha. En el centro de la nada, todas las direcciones son equivalentes. No hay un suelo hacia el que pueda dirigirse el jarrón, a no ser, claro, que tú mismo te conviertas en el suelo. Pero eso sería insultarte, ¿no? Pues... La verdad es que no deberías tomarte las cosas a la tremenda en lo que a la naturaleza se refiere, porque, después de un rato muy largo sin hacer nada, descubres con horror que el jarrón vuelve hacia ti. La gravedad funciona. La gravedad que tú creas.

Pero ahora una idea extraña se abre paso en tu mente: ¿es el jarrón el que se acerca a ti o tú a él? Si tienes que guiarte solo por tu percepción, bien podría ser que el jarrón sea el suelo y tú el que cae hacia él. Por desgracia, no tienes tiempo de profundizar en esa idea, porque justo entonces pasa un asteroide a tu lado y con sus invisibles dedos gravitacionales aferra el jarrón, que para entonces ya estaba muy cerca de ti.

Si alguien te hubiera preguntado, seguramente habrías dicho que, al ser más pesado, tú serías el primero en tocar el suelo del asteroide. Pero no, no es eso lo que sucede. Tú y el jarrón tocáis la superficie del asteroide simultáneamente y, tan pronto tus pies tocan el suelo, agarras inmediatamente aquella malograda obra de arte para estrellarla contra la superficie del asteroide.

Por desgracia, el suelo del asteroide no es tan sólido como el de la Tierra, y el jarrón no se rompe. En lugar de ello, te ves ahora rodeado por una inmensa nube de polvo cósmico. Irritado, vuelves a agarrar el jarrón y lo lanzas con todas tus fuerzas hacia el espacio para librarte de él de una vez por

todas. En esta ocasión, piensas, no hay forma de que regrese, y te sientes aliviado cuando lo ves desaparecer a lo lejos, más allá de la nube de polvo, condenado a girar sobre sí mismo por toda la eternidad.

¡Al fin solo!

Ya puedes relajarte, disfrutar de las vistas sin distracciones y pensar cómo experimentar la gravedad en mayor profundidad de lo que nadie ha sido capaz hasta ahora.

Mientras todo esto pasa por tu cabeza, te fijas en que la roca en la que estás de pie ya no se mueve en línea recta. Su trayectoria se ha curvado para dirigirse ahora hacia un mundo oscuro y gélido, un planeta sin estrella, que vaga por la nada en un viaje probablemente infructuoso en busca de un nuevo y luminoso hogar. Después de todo sí que había peligros: lo que pasa es que no los habías visto.

Por un instante, a medida que tu peñasco acelera con rumbo al planeta y notas cómo tus tripas aceleran también en su camino hacia tu garganta, estás casi seguro de que la trayectoria de colisión es perfecta y que acabaréis estrellándoos contra la fría y yerta superficie del planeta. Alguna vez has oído decir que, cuando se enfrenta a una muerte inminente, la gente recupera recuerdos recónditos o ve su vida desfilar ante sus ojos. Nada de todo eso sucede. No puedes pensar en nada excepto en la cara de tu tía abuela, y le echas la culpa a ella (y a su jarrón) de la muerte segura que se le viene encima a tu cuerpo.

En un heroico esfuerzo por salvar el pellejo, tomas un gran impulso y saltas del asteroide mientras intentas alejarte nadando del planeta. Apenas lo has hecho, te das cuenta de dos cosas: a diferencia de lo que pensabas, no ibas rumbo a una colisión y, en segundo lugar, pese a que es posible saltar desde un asteroide, no se puede nadar en el espacio.

Como si fueras a bordo del vagón de una montaña rusa interestelar, aceleras más y más a medida que te deslizas por la pendiente que el planeta crea sobre el tejido del universo. Como era de esperar, acabas esquivando la superficie del planeta por unos pocos miles de kilómetros y pasas disparado junto a su oscuro y frío suelo para verte lanzado de inmediato hacia el espacio junto con tu asteroide a una velocidad mucho mayor que la que llevabas antes de la caída, como si fueseis el proyectil de una honda. Básicamente, el asteroide y tú acabáis de robar energía de ese planeta, algo de energía cinética, como una pelota de golf en una pista de minigolf que, en lugar de

entrar en un endemoniado hoyo móvil, traza una curva alrededor del borde de este y sale disparada con más velocidad de la que entró y acaba más lejos que el punto desde el cual la golpeaste. Un agujero estático no puede hacer eso ni tampoco un mundo fijo. Pero un agujero móvil sí que puede, al igual que un planeta en movimiento.

Pocos minutos más tarde, el planeta muerto se ha perdido a lo lejos y tú aterrizas de nuevo en la superficie de tu asteroide. Es curioso, piensas: el asteroide nunca ha dejado de ejercer su atracción sobre ti y, lo que es aún más curioso, te das cuenta de que los dos habéis seguido una trayectoria muy parecida alrededor del mundo perdido que ahora ya está lejos.

Puede que te sorprenda que un jarrón con una cuadragésima parte de tu peso caiga igual que tú hacia un asteroide, pero que un asteroide, un peñasco del tamaño de una montañita, caiga igual que tú hacia un planeta directamente te irrita. Y, sin embargo, así ha sucedido. Por lo visto, los objetos caen de igual manera hacia los planetas, o el uno hacia el otro, independientemente de su masa. Por curioso que pueda parecer esto, incluso el Sol y una pluma caerían de igual manera hacia un asteroide, un planeta o cualquier otra cosa. Esto sucede así porque estar sujeto a la gravedad quiere decir moverse por las pendientes que la materia y la energía crean en el tejido de nuestro universo.

Comprensiblemente, te sientas en tu peñasco para dejar que esa idea se asiente y se convierta en algo que tenga sentido.

Contemplas el espacio exterior.

No se te ocurre nada que tenga sentido.

Sigues intentándolo, y tu tenacidad tiene recompensa, porque de repente una imagen de extraordinaria belleza se abre paso en tu mente.

Empiezas a ver curvas, pendientes y colinas por doquier, en torno a las rocas, y los planetas, las estrellas y las galaxias muy lejanas. Los rayos de luz procedentes de distantes focos parecen deslizarse por esas pendientes y dejan a su paso evanescentes líneas fluorescentes mediante las cuales puedes ver la verdadera forma del lienzo del universo. Compruebas que, al igual que la materia y que tú mismo, la luz en el espacio no avanza en línea recta como imaginabas. Cerca de una galaxia, una estrella, un planeta o incluso un peñasco, la luz se desvía. Cuanto más densos son los objetos y más cerca pasa de ellos el rayo de luz, más acusada es la desviación. A medida que las estrellas y galaxias se mueven, lo hacen también las curvas y pendientes que crean, y las siguen mientras bailan unos en torno a otros hasta unificarse. Todo está en constante movimiento en nuestro universo. Incluso su propio tejido.

Es más, parece que ese tejido, cuya forma empiezas a ver ahora, ese tejido que hasta ahora te había resultado invisible, casi está vivo.

Todo esto lo contemplas sentado en tu asteroide mientras te deslizas por una pendiente, igual que haces ahora mientras lees este libro. En el asteroide, la pendiente la crea la roca. Mientras lees este libro, es la Tierra la que la crea. Sobre el asteroide, la curva es suave y no requiere mucha energía poder alejarse de ella. Sobre la Tierra, la curva es mucho más abrupta.

Si no tienes la impresión de estar cayéndote mientras lees este libro es porque tienes un suelo bajo los pies (o una silla en la que sentarte) que impide que lo hagas. Pero seguramente notas que tus hombros (tu cuerpo entero, en realidad) siente una atracción hacia el suelo. Que, además, es constante. Sin embargo, si lees esto mientras te lanzas en caída libre desde un avión, entonces efectivamente estarías cayendo por la curva que crea la Tierra, si bien el aire presente ralentizaría tu caída. Una caída semejante a lo largo de una pendiente en el tejido del universo es el movimiento más natural de cuantos existen, tanto para todos los objetos que existen en el universo como para el espacio que los rodea.

La primera vez que empujaste aquel jarrón tan feo, este ascendió lentamente por la pendiente invisible que creaba tu presencia y luego volvió a caer por la misma, del mismo modo que un objeto lanzado al aire desde la superficie de la Tierra ralentiza su avance a medida que asciende y luego acelera cuando empieza a caer.

Para que un objeto llegue al espacio desde la superficie de la Tierra, es preciso lanzarlo en vertical a más de 40 320 kilómetros por hora. Si se lanza más despacio, caerá de nuevo al suelo.^[20] Siempre.

Para escapar a la atracción gravitatoria (que no debemos confundir con el atractivo), por tanto, es necesario alcanzar una velocidad mínima, del mismo modo que precisamos una velocidad inicial mínima cuando impulsamos una canica para que ruede por encima de un montículo en el suelo.

Como no empujaste el jarrón con fuerza suficiente, volvió hacia ti porque también tú combas el tejido del universo.

Y, más adelante, cuando pasaste junto al planeta y saliste disparado hacia el otro lado con un impulso adicional obtenido del propio movimiento del planeta, utilizaste sin saberlo una técnica a la que recurren los científicos aeroespaciales para enviar satélites a los confines del sistema solar sin necesidad de combustible, y que consiste en enviar los aparatos a volar cerca de los planetas a un ángulo y distancia concretos para que estos cuerpos los

propulsen a mayor velocidad hacia regiones más remotas de nuestro vecindario cósmico.

Mientras estas ideas cruzan tu cerebro, comprendes que, incluso en la Tierra, todo, absolutamente todo, cae constantemente por la pendiente creada por la materia de la que está compuesto nuestro planeta. Y así se explica el cómo y el porqué de la estratificación del planeta, desde lo más alto del cielo hasta el centro mismo de su núcleo, con las partículas menos densas encima de todo y las más densas profundamente sepultadas. Fueron necesarios miles de millones de años para llegar a este equilibrio.

Ahora bien, tanto si eres consciente de ello como si no, acabas de deshacerte por completo de la idea de que la gravedad sea una fuerza. Ahora más bien la percibes como un paisaje de curvas, colinas y pendientes, y parece que esa es la lección que habías ido a aprender al espacio, ya que en cuanto tomas conciencia de ella te encuentras de nuevo en tu casita de vacaciones, tumbado en la cama, cara a cara con tu tía abuela, que ahora parece bastante confundida.

—¿No te he dado un jarrón hace un momento? —se admira, al verte con las manos vacías.

—¿Qué jarrón?

—Nada, nada, no importa.

—Pero ¿qué haces aquí? —le preguntas.

—Tus amigos me llamaron. Has estado sufriendo alucinaciones, al parecer. Sobre la gravedad. Cuando llegues a mi edad verás lo pesada que se te hace. Pero aún eres joven y no deberías preocuparte demasiado por la gravedad. Fíjate en los jarrones que te traigo. ¿A que son bonitos?

—La fuerza de la gravedad no existe, son todo pendientes —le dices, adusto, mientras por lo bajo maldices a tus traicioneros amigos.

—Sí, efectivamente, pendientes, ya lo sé —responde ella inesperadamente mientras desembala los jarrones. Y para tu sorpresa, te replica que, en términos gravitacionales, palabras como *fuerza*, *pendiente* o lo que sea nunca le han importado: ¿o es que lo normal no es gritar «¡Socorro, que me caigo!» en vez de «¡Socorro, estoy siendo arrastrado!»? Desde luego, qué tiquismiquis te pones.

Y a continuación se pone a redecorar la que hasta ahora era una elegante residencia de vacaciones con la decena de jarrones que ha traído, y tú la miras y reflexionas en silencio sobre el sentido de la vida.

Esa misma noche, cuando por fin te las arreglas para quedarte un rato a solas, rehúyes la relativa civilización de la casita para pasear por la playa y asomarte a las estrellas. El comentario de tu tía abuela sobre la gravedad te irrita, e intentas resumir lo que acabas de aprender.

Existen pendientes en el tejido mismo del universo.

Todo crea una pendiente en cualquier dirección, una pendiente invisible que llamamos gravedad, y cuanto más denso es el objeto que la crea, más pronunciada es la pendiente. Pero si todos los objetos con masa curvan el tejido de nuestro universo, la luz también debería hacerlo, porque la energía es masa y la masa energía, según $E=mc^2$.

Pero ¿es eso completamente cierto?

¿De verdad todo arquea ese tejido, incluida la luz? ¿Y de qué narices estará hecho ese tejido?

Hace un momento, en la casita, o dondequiera que estuvieses, ¿la notabas? ¿Sentías la pendiente invisible creada por una pared? ¿O por un sofá? ¿O por el techo? ¿O por el cielo? ¿O por la luz de una lámpara? No, no la notabas. Hasta ahora solo has percibido la que crea el planeta en su conjunto, la que combaten tus músculos y huesos para levantarte por las mañanas. Si estuvieras hecho por completo de agua, chapotearías y te extenderías por el suelo, y no por las paredes.

En realidad, la gravedad que percibes en estos instantes es la suma de todas las pendientes creadas por todo lo que te rodea, incluidas las paredes, el techo y hasta los pájaros y aviones que puedan estar sobrevolando tu cabeza.

Pero todo lo que tienes por debajo de ti ahora mismo es bastante más importante que lo que hay por encima. La Tierra bajo tus pies contiene más materia y energía almacenadas que el cielo. Por eso crea una pendiente más acusada y también tiendes a deslizarte primero por ella y es la que más notas. Esa es la gravedad de la Tierra.

Pero ¿y el tejido del universo? ¿Qué es ese tejido? ¿Qué es lo que se curva?

Eso es precisamente lo que descubrió Einstein.

Con $E=mc^2$ probó que la distinción entre materia y energía es superflua, y que la masa y la energía son simplemente dos aspectos de una misma cosa. Eso fue en 1905. En 1915 demostró que la forma del universo en cualquier lugar concreto está determinada por la masa y la energía presentes en ese lugar. Y ya de paso descartó la idea de que la gravedad sea una fuerza. La

gravedad no es más que geometría. Curvas y pendientes. Creadas por la materia y la energía. Pero ¿la geometría de qué? No existe una lámina jabonosa de goma sobre la que todo se mueve, eso está claro, pero recuerda que solo porque no veamos algo eso no significa que no exista. Antes de que la humanidad comprendiese que el aire que nos rodea está hecho de átomos y moléculas, todo el mundo pensaba que estaba vacío.

Aquí tenemos que superar una brecha conceptual similar: el aparente vacío del espacio exterior no es tal. Y, además, no es estático.

Aquello que lo convierte en un objeto geométrico en movimiento y en cambio constante es precisamente lo que hasta ahora he llamado el *tejido del universo*.

Einstein descubrió que ese tejido es una mezcla de espacio y tiempo, dos entidades que, según hemos ido aprendiendo a lo largo del último centenar de años, no pueden separarse la una de la otra.

Hoy solemos referirnos al tejido del universo por el nombre de espacio-tiempo, y la teoría general de la relatividad de Einstein nos explica cómo ese espacio-tiempo se curva debido a lo que contiene y viceversa. La energía y la materia, por un lado, y la geometría del espacio-tiempo, por otro, son conceptos idénticos en cuanto concierne a la gravedad.

Hasta ahora, sin embargo, solo has experimentado la curvatura del espacio, no la del tiempo. O eso crees. En realidad la curvatura del tiempo se produce constantemente. Es más, está sucediendo ahora mismo, a tu alrededor, mientras lees esto. Sus efectos son demasiado débiles como para que los perciban tus sentidos, pero pronto te encontrarás en lugares en los que la curvatura del tiempo será evidente y bastante desconcertante. Sucederá a bordo de un avión, en la tercera parte del libro, y más adelante, cuando te zambullas en un agujero negro, en la sexta parte.

De momento, sin embargo, vuelves a estar en tu playa contemplando las estrellas. Es tarde, pero te da igual. Observas los cielos y te sientes como si flotases entre maravillosas ideas que parecen descabelladas pero, por algún milagroso motivo, dan la impresión de describir perfectamente nuestra realidad cósmica.

Gracias a la curvatura del espacio-tiempo de nuestro planeta, todo lo que está suficientemente cerca de él cae hacia su superficie y contribuye a la curvatura. Gracias a ello, a lo largo de los miles de millones de años transcurridos desde que la Tierra nació de una nube de polvo estelar, se ha llegado a un equilibrio en el que nuestro planeta se ha rodeado de una

atmósfera, la misma que nos protege del espacio exterior, nos permite vivir y respirar y nos da la oportunidad, de vez en cuando, de contemplar el cielo.

Al borde mismo de esta atmósfera, lejos de la Tierra, está la Luna, que gira alrededor de nuestro planeta como una canica en una ensaladera, con la diferencia de que nuestro satélite crea también una curvatura en el espacio-tiempo. Esa curva que crea la Luna hace que el agua que hay en la superficie de la Tierra caiga hacia ella. Ese es el motivo de que el agua siga a la Luna en su órbita alrededor del planeta, creando las mareas.^[21]

Más lejos todavía encontramos el Sol y una acusada curvatura en la pendiente de su espacio-tiempo, sobre la que todos los planetas, cometas y asteroides del sistema solar giran y se deslizan a diferentes velocidades y alturas, como canicas sobre las paredes curvas de la ensaladera que citábamos antes.

Y luego está la competencia con las estrellas vecinas.

A cierta distancia, la curvatura del espacio-tiempo de otras estrellas resulta más acusada que la de nuestro Sol, y esos cometas distantes que se ubican cerca del límite en ocasiones llegan a la cúspide de la colina y pasan del control de una estrella a otra, del mismo modo que una canica lanzada por encima del borde del cuenco caería en otro si hubiera alguno cerca. En el espacio siempre hay una estrella cerca.

Y todas las curvaturas del espacio-tiempo de todas las estrellas de la galaxia se suman para crear la curvatura de nuestra galaxia, el campo gravitatorio de nuestra galaxia, que compite con el de las galaxias próximas, y luego el Grupo Local de galaxias compite con la suma de curvaturas de otros grupos, etcétera. Y Einstein fue capaz de condensar todo esto en una sola fórmula.

Un aplauso para Einstein.

Su ecuación le llevó incluso a predecir que habría ondas muy extrañas ocupando esta inmensidad.

Hace pocos capítulos oíste hablar por primera vez de que la gravedad era una curva, cuando te contaba que los planetas y las estrellas son en muchos aspectos como bolas pesadas que deforman una cinta de goma tensada. Pero ahora sabes que el tejido del universo (la mezcla de espacio y tiempo que llamamos espacio-tiempo) no es una cinta ni es plano. Está por doquier. Por eso es mejor imaginar que los planetas y estrellas del espacio exterior no son esferas suspendidas sobre una superficie plana, sino sumergidas en un océano que colma el conjunto del universo. No hay superficie arriba ni lecho abajo. Solo agua, en todas partes.

Si una esfera sumergida pudiera distorsionar el líquido que la rodea en todas direcciones y atraer el agua hacia sí, tendríamos una situación análoga a la del funcionamiento de la gravedad. Un pez que pasase nadando por allí se vería atraído junto con el agua hacia la esfera. Por cierto: en las proximidades de la esfera, el pez no nadaría en línea recta, sino que se vería desviado. A la velocidad adecuada, incluso, podría dejar de nadar y dejarse llevar perezosamente en órbita alrededor de la esfera. Eso es lo que sucede en el espacio: los planetas no necesitan sacudir aletas de ningún tipo para orbitar en torno a su estrella. La Tierra se mueve en línea recta, sí, pero en un espacio-tiempo combado por el Sol. Nuestro planeta no dirige su avance, ni dedica energía alguna a hacerlo. Simplemente sigue las líneas invisibles que crea nuestra estrella, como una canica en un cuenco.

Vamos a llevar la analogía un poco más lejos y preguntarnos qué pasaría si hubiera no una, sino dos esferas sumergidas en el océano, cada una orbitando alrededor de la otra.

Seguramente se formarían ondas, ¿no?

No hablo de olas en la superficie, sino de ondas dentro del océano mismo. Esas ondas se extenderían hacia el exterior, alejándose de las esferas giratorias, lo que haría que estas perdiesen energía hasta chocar entre sí.

Bien, ¿a qué corresponderían esas ondas en nuestro universo? A una sacudida de su tejido. Serían ondas de espacio-tiempo, y a eso hemos decidido llamarlo *ondas gravitatorias*. Einstein predijo su existencia en 1916, apenas unos meses después de haber publicado su teoría sobre la gravedad. Sin embargo, nadie se tomó la molestia de prestarle atención. Durante décadas, además. Llegó un momento en que el propio Einstein dejó de pensar en ellas, suponiendo que habían sido un artificio de sus cálculos sin base real, hasta que la matemática y física francesa Yvonne Choquet-Bruhat le dijo en 1951 que llevaba razón... A través de cálculos matemáticos demostró que si la relatividad general era correcta, las ondas gravitacionales debían existir. Y allí empezó la carrera para detectarlas.

Hace 1300 años, en una galaxia a 1300 millones de años luz de distancia, dos agujeros negros con una masa equivalente a 29 y 36 veces la de nuestro Sol, respectivamente, se precipitaron uno contra otro y se fusionaron a la mitad de la velocidad de la luz. Durante los escasos 20 milisegundos que duró la colisión, perdieron el equivalente a tres masas solares en energía. Una cantidad colosal de energía. Para entendernos: unas 50 veces la energía de todas las estrellas del universo visible. De acuerdo con la relatividad general de Einstein, y teniendo en cuenta $E=mc^2$, esa energía no se transformó en luz,

sino en ondas gravitacionales que nada podía detener y que estaban destinadas a llegar hasta la Tierra 1300 millones de años más tarde.

Y así sucedió. Específicamente, el 14 de septiembre de 2015, a las 09:50:45 UTC.

Nadie habría sabido verlas, de no haber sido por el extraordinario ingenio del físico alemán Rainer Weiss y los físicos estadounidenses Ronald Drever y Kip Thorne, que dedicaron décadas a concebir y construir LIGO, los observatorios de ondas gravitacionales por interferometría láser instalados en Estados Unidos. Más de un millar de científicos de todo el mundo colaboraron con ellos en la búsqueda. Sin duda, en años venideros este extraordinario avance se verá recompensado con un premio Nobel.

De modo que también en esto tenía razón Einstein. Desde luego, era un tipo admirable. Casi dan ganas de que hubiera forma de cruzarse con él para poder estrecharle la mano.

Aun así, la teoría general de la relatividad es más que eso. ¿No has leído antes que Einstein abrió la puerta a la idea de que el universo podría tener una historia? ¿De que el tamaño del universo fue menor en otro tiempo?

Te sientas en la playa y cierras los ojos, concentrado, listo para imaginar exactamente qué puede significar eso.

7

Cosmología

En la vida hay algunas preguntas a las que se puede dar una respuesta sencilla y desprovista de controversia. Por desgracia, y pese a lo visto hasta ahora, qué aspecto tiene nuestro universo en su conjunto no es una de ellas. Las ecuaciones de Einstein abren la puerta a muchas y muy diferentes formas globales para nuestro universo y, tal y como veremos en la sexta parte, ni siquiera sabemos de qué está hecho.

Dicho esto, vale la pena recordar que la física, por muy potente que haya resultado ser hasta ahora, nunca ha sido capaz de cuadrar *exactamente* la realidad. Es más, sabe que no puede ni siquiera intentarlo, porque eso significaría que la realidad (sea esta cual sea) podría conocerse con exactitud. Y eso no es posible: las observaciones y los experimentos, por muy precisos que sean, siempre arrojan una respuesta aproximada. Siempre queda un margen de error, aunque sea insignificante.

Con la ventaja que nos da el tiempo transcurrido, sabemos que, a lo largo de la historia de la humanidad, la tecnología con la que los humanos hemos investigado la naturaleza rara vez ha estado a la altura de lo que la física podía predecir en ese momento, lo que a veces condujo a creencias erróneas. Si hace ahora unos pocos siglos alguno de tus antepasados se las hubiera arreglado para intuir la existencia de las bacterias, cuyo tamaño es la milésima parte del grosor de un cabello, ninguno de sus contemporáneos habría podido comprobar su aseveración y lo más probable es que hubiese acabado en el manicomio por alarmar indebidamente a la gente. Lo mismo pasa con las galaxias remotas. Si ese antepasado tuyo hubiera insistido en que existían, no lo habrían encerrado, sino que lo habrían quemado vivo, como a Giordano Bruno. La tecnología necesaria para poder asomarse lo suficientemente lejos en el espacio y ver esas galaxias no existió hasta hace menos de un siglo. De

igual manera, la tecnología que haría falta para corroborar lo que veremos al final de este libro todavía no ha sido construida.

Aun así, la ciencia avanza paso a paso, y a veces a pasos agigantados, lo que da pie a verdaderas revoluciones en la concepción de las cosas. Pese a ello, es razonable imaginar la ciencia como una especie de almacén de ideas, el cual, generación tras generación, intenta acercarse tanto como puede a la realidad en la que vivimos, una realidad cuyos misterios son desentrañados luego mediante experimentos. Y vale la pena mencionar que, aunque es algo que quizá cambie en el futuro, hasta la fecha ninguna actividad humana excepto la ciencia ha generado descubrimientos sobre la naturaleza que no fuesen observables a primera vista. Por muy humildes que debamos mostrarnos ante la majestuosidad de la naturaleza, la ciencia, y solo la ciencia, nos ha dado ojos para ver aquello ante lo que nuestro cuerpo era ciego.

Pese a lo que mucha gente pueda pensar, a los científicos no les gustan las cosas complicadas. Para intentar comprender el universo en su conjunto, prefieren que todo sea sencillo. Muchas veces, su trabajo consiste en identificar un patrón sencillo dentro de un entorno aparentemente complejo.

Ahí es donde el ingenio resulta muy útil.

Por eso, vamos a ver qué sacamos en claro de aquella visión de Einstein simplificando lo más posible lo que hemos visto hasta ahora. De los detalles nos olvidaremos. Vamos a la visión de conjunto. Nada de asteroides, ni de planetas, ni de estrellas, ni de ondas gravitatorias. Son demasiado pequeños para lo que nos importa ahora. Quedémonos solo con las galaxias, o mejor, con los grupos de galaxias. Y tú, mientras, eres capaz de verlo todo, como alguien con una vista de lince de proporciones tan cósmicas que la Tierra, el Sol y los cientos de miles de millones de estrellas que componen la Vía Láctea son solo un puntito que señala tu posición.

El resto de las galaxias están distribuidas uniformemente a tu alrededor, aunque aparentan ser estructuras visibles que parecen filamentos.

Bien.

Esto es sencillo. Es tu configuración inicial. Ahora la aplicas a las ecuaciones de Einstein para ver qué sacamos de ellas, si es que sacamos algo. Y esperas, inquieto, sin atreverte a tener grandes expectativas. Y entonces. ¡Milagro! ¡Funciona! A tu alrededor, dondequiera que miras, las galaxias y grupos de galaxias se mueven tal y como se esperaba que lo hicieran. Pero eso no es todo. El universo que te rodea, el volumen del universo visible que puede observarse desde la Tierra, empieza a expandirse. El espacio-tiempo se estira en el espacio que hay entre los puntitos galácticos, y aleja a los unos de

los otros de manera independiente a la forma en la que unos se mueven alrededor de otros. Tanto da cual sea su movimiento a escala local: son como semillas de amapola en un pastel mientras se hornea o puntitos sobre la superficie de un globo mientras se hincha: cuanto más lejos estaban de entrada respecto a la Tierra, más rápido se alejan de ella. Eso es lo que vieron tus amigos cuando les diste sus telescopios de mil millones de libras. Esa es la expansión del universo.

Al aplicar la ecuación de Einstein a un modelo sencillo del universo visible, obtuviste algo que, antes de la época de Einstein, nadie había siquiera imaginado en toda la historia de la humanidad. Algo que se corresponde con lo que viste en el cielo, con lo que los científicos ven cada día: el universo mismo (según Einstein) puede evolucionar y (según las observaciones) efectivamente evoluciona.

Y esa idea dio a luz la *cosmología*, la ciencia que intenta desentrañar la historia pasada y futura de nuestro universo. Antes de Einstein, teníamos solo *cosmogonías*, historias que nos contábamos unos a otros para no volvernos locos al pensar en el misterioso origen de nuestra realidad. Ahora contamos también con la ciencia, un medio de desentrañar la historia creado no por el ser humano, sino por la naturaleza.

Mientras sigues la evolución de todos los puntitos que te rodean, te das cuenta de repente de que, con la ecuación de Einstein, puedes rebobinar mentalmente para ver la expansión en marcha atrás.

Y eso es lo que haces.

En lugar de inflarse, el pastel de semillas que es tu universo visible empieza a deshincharse de inmediato. Tu ojo cósmico lo ve encogerse: los pasados que estaban tan lejanos se acercan ahora hacia el presente, hacia ti, y devoran las imágenes de los años venideros.

Lo que se encoge es la esfera que limita el universo visible de la Tierra.

Y sigue encogiéndose, y encogiéndose, hasta que...

Hace ahora unos cien años, cuando el físico y jesuita belga Georges Lemaître decidió construir un universo imaginario a partir de los tres principios cosmológicos, a fin de ver cómo se expandía y contraía, la conclusión a la que llegó no podía ser más clara: nuestra realidad, al parecer, la misma que hemos aceptado sin más desde que los humanos somos capaces de razonar, posiblemente tuvo un inicio.

Las ecuaciones de Einstein llevaron rápidamente a Lemaître, y posteriormente a otros muchos, a la desconcertante idea de que, pese a que siempre ha contenido toda la energía que conserva hoy, nuestro universo no tuvo tamaño alguno en otra época.

Nada de tamaño ni en el tiempo ni en el espacio.

La idea, definitivamente, sonaba absurda, y habrá quien todavía diga que así es: pero eso es lo que afirmaba la ecuación de Einstein.

Según lo que sabemos ahora, sin embargo, esta parece ser la mejor idea de cuantas se le han ocurrido a la humanidad para comprender lo que ve en el firmamento nocturno.

Cualquier teoría que afirme que todo lo que contiene nuestro universo visible tuvo en algún momento del pasado un tamaño cero (o muy, muy próximo al cero) recibe el nombre de *teoría del Big Bang* (caliente).

Lo de *caliente* viene porque solo un pasado extremadamente caliente puede permitir que toda la energía de nuestro universo visible se comprima en un espacio minúsculo. El núcleo del Sol es caliente porque toda la materia que contiene está aplastada por la propia gravedad del Sol. Si comprimimos el universo visible al completo en una esfera del tamaño del Sol, alcanzaríamos niveles superlativos de calor.

Lo de *big* (grande) es porque abarca el universo visible al completo.

Y lo de que explote (*bang*) es porque la expansión posterior hace que parezca que en el pasado se produjo una explosión inmediatamente después de que naciese nuestro universo, aunque más adelante veremos que para nada fue una explosión.

Quizás una manera más descriptiva de explicar lo que sucedió en aquel entonces sería hablar de una «deflagración universal, ubicua, descomunal y abrasadora, extraordinaria, tremenda, asombrosamente caliente», pero con «Big Bang caliente» transmitimos la idea bastante bien, y queda más modesto.

Y bien está esa modestia porque, pese a que a tu ojo cósmico le parece que todo lo del Big Bang se centra en nuestro planeta, la Tierra, no es así.

Como verás a continuación, el Big Bang no se produjo en un punto específico del espacio-tiempo, sino en todas partes.

8

Más allá de nuestro horizonte cósmico

Cuando estabas en la playa, al inicio mismo de tu viaje, te preguntabas si lo que observabas en el cielo a simple vista era el conjunto del universo.

Ahora sabes que no es así.

Nuestros ojos apenas nos permiten discernir unos cuantos centenares de estrellas, todas las cuales pertenecen a nuestra galaxia, la Vía Láctea, y quienes saben dónde buscar son capaces de ver indicios muy tenues de otras galaxias próximas.

Eres consciente de que, mediante el uso de telescopios, el conjunto del universo observable es inimaginablemente más amplio que eso. Pero también este tiene un límite: la superficie de última dispersión.

Esa superficie se ubica en nuestro pasado, a unos 13 800 millones de años de distancia.

Pero también ocupa un lugar en el espacio, situado a unos 13 800 millones de años luz.^[22]

Ahí está el límite de lo que podemos ver en la actualidad.

Cualquier luz que proceda de allende esos confines debería viajar durante más de 13 800 millones de años para llegar hasta nosotros. Pero hace 13 800 millones de años, la luz no era capaz de desplazarse libremente. Estaba atascada. En aquel entonces, el universo era demasiado denso. La luz solo ganó la libertad de proyectarse por el espacio y el tiempo hace 13 800 millones de años, y la superficie de última dispersión es la imagen que permanece de aquel instante. Visto desde allí, establece el arranque de un espacio-tiempo transparente. Visto desde la Tierra, establece los límites del universo visible.

En cierto modo, esa superficie es nuestro horizonte cósmico. No podemos ver más allá. Al menos, no desde la Tierra.

Desde el principio de este libro has estado viajando por el espacio tal y como se ve desde la Tierra.

Te has limitado siempre al universo visible, el que se enmarca en nuestro horizonte cósmico, un horizonte que nos tiene a nosotros como centro.

Pero ¿qué pasa con el universo visto desde cualquier otro lugar, desde un punto que no sea la Tierra? ¿Seguiría el horizonte cósmico centrado en la Tierra?

Imagínate a ti mismo yendo a la deriva sobre una balsa en medio del océano, lejos de cualquier costa. Puedes ver claramente el horizonte, la línea que separa el agua del cielo. Miras a tu alrededor y ves que forma un círculo, un círculo cuyo centro eres tú.

¿Significa eso que estás en el centro del océano?

Evidentemente, no.

Significa que estás en el centro de la porción de océano que eres capaz de ver, tu océano *visible*. No tienes forma de asomarte más allá de los confines de tu horizonte.

Pero eso no quiere decir que no haya nada más allá.

Claro que hay algo.

Una amiga que fuese a la deriva sobre otra balsa a cierta distancia también tendría un horizonte a su alrededor, el suyo propio, que delimitaría su océano visible.

Si esa amiga estuviese lo suficientemente cerca, quedaría dentro de tu radio de visibilidad. Vuestros océanos visibles tendrían en común algunas olas, pero ella sería capaz de ver más lejos que tú en determinadas direcciones, y lo mismo te pasaría a ti en la dirección opuesta.

Sin embargo, podría suceder también que de entrada ella se situase más allá de tu horizonte.

En ese caso, podría suceder que tuvieseis parte de vuestros respectivos océanos visibles en común sin que el uno supiera de la existencia de la otra.

Una tercera posibilidad es que tu amiga esté tan lejos desde un primer momento que su océano visible y el tuyo no tengan nada en común. Visto desde el aire, eso significa que los círculos que limitan lo que cada uno de vosotros ve no se solapan. Todo lo que ella puede ver desde su posición queda

completamente oculto a tu vista. Ella podría estar viendo islas volcánicas y ballenas y tú ni te enterarías.

En el espacio pasa lo mismo.

El universo visible que observamos desde la Tierra es una esfera con un radio de 13 800 millones de años luz.

Pero eso no significa que no haya nada más allá.

Alguien en otro planeta estaría rodeado por su propio horizonte cósmico, que tendría igualmente un radio de 13 800 millones de años luz, pues el universo no tiene por qué ser más joven o viejo allí que aquí.

Los tres principios cosmológicos que has visto antes se formularon para garantizar que un universo visible tan remoto que no tuviese partes visibles en común con el nuestro debería tener un aspecto similar a nuestro universo (no idéntico, evidentemente, pero sí parecido) y obedecer las mismas leyes físicas.

Incluso si la balsa de ella estuviese demasiado alejada como para poder verla, no hay motivos para imaginar que en el océano visible de tu amiga pueda haber montañas voladoras.

Lo mismo vale para el espacio exterior. Las leyes de la naturaleza deberían ser las mismas en todas partes, y una ubicación concreta no debería diferir en este sentido de cualquier otra.

Consecuentemente, el universo visible que cualquier persona que habitase en cualquier punto del universo (más allá del que podemos ver) debería estar también en expansión y cumplir con la ecuación de Einstein, lo que se traduce en que, si retrocediéramos en el tiempo, encontraríamos también un Big Bang, igual que aquí. Aunque esta vez sería un Big Bang centrado en ese lugar, y no en nosotros.

Con semejante concepción de *todo* nuestro universo, no puede existir un centro de todo, y el Big Bang tuvo que producirse en todas partes.

Con semejante concepción, empiezas a tomar conciencia de lo que se ha dado en llamar *multiverso*: un universo compuesto de muchos universos separados, incapaces de comunicarse entre sí pese a que todos pertenecen a un mismo todo.

Antes de que acabe el libro habrás visto cuatro ejemplos diferentes de multiversos. Este es solo el primero, y si me refiero a él en primer lugar es porque la mayoría de los científicos creen que es correcto.

Pero si aceptamos eso, ¿quiere decir que el universo, el *todo* que se consigue juntando todos los universos visibles desde todas las balsas de todas partes, es infinito?

No, en absoluto. El océano, por ejemplo, el que se obtiene de juntar todos los océanos visibles desde todas las balsas que quieras, es finito.

Entonces, ¿el universo es finito?

No. Puede que siga siendo infinito.

No lo sabemos.

Como decía al comienzo del capítulo anterior, desafortunadamente las ecuaciones de Einstein no ofrecen respuesta a esta pregunta.

Muy bien.

Pero, a ver, ¿qué es lo que ha quedado demostrado? No mucho, ¿no te parece? O incluso nada.

Quizás hasta la teoría del Big Bang te parece floja, poco menos que una idea abstracta.

Y efectivamente, podría argumentarse que lo que tus amigos vieron en el cielo (cuanto más lejos están las galaxias de nosotros, más rápidamente se alejan de nosotros) simplemente indica que el universo está creciendo *ahora*. Hay muchos pasados posibles que podrían haber provocado esa expansión sin necesidad de recurrir a la tontería esa del Big Bang.

Se podría argumentar eso, sí. Pero no se sostiene.

La ciencia no es como la política.

A la naturaleza le trae bastante sin cuidado lo que opine la gente, incluso si son mayoría.

Las pruebas firmes obtenidas a través de la experimentación son siempre necesarias.

Y, como veremos ahora, hay indicios muy sólidos de que en nuestro pasado tenemos un Big Bang, unas pistas tan convincentes que hay quien incluso las considera pruebas.

9

El Big Bang: pruebas de cargo

Supongamos que nuestro universo (limitémonos de momento al visible) hubiera sido de menor tamaño en el pasado: ¿cómo podemos demostrarlo? Viajar físicamente en el tiempo no es una opción viable, pero sí podrías asomarte al pasado.

A estas alturas deberías haberte hecho ya a la idea de que cuando percibes la luz procedente de estrellas situadas a miles de millones de años luz de aquí, estás viendo el aspecto que tenían hace varios miles de millones de años. Estás viendo el pasado. Del mismo modo, puedes comprobar si el universo era entonces más pequeño o bien buscar pistas de que era así a través de la forma en que la luz llega hasta ti.

Sin embargo, no siempre es fácil verle pies y cabeza a lo que uno alcanza a vislumbrar en los confines del universo. La mejor opción, sin duda, es tener una idea muy clara de lo que esperamos encontrar y, a partir de ahí, comprobar si esa idea se corresponde con la realidad. A eso se dedican los físicos teóricos (a eso, al menos, se supone que se dedican... a veces).

De momento, sin embargo, vamos a ver a qué conclusiones eres capaz de llegar antes de echar mano al telescopio.

Estás de vuelta en tu playa tropical.

Ya es plena noche pero, en lugar de observar las estrellas, y tras comprobar dos veces que no hay nadie cerca, empiezas a hablar contigo mismo, pensando en voz alta, para crear en tu mente una imagen de la historia del universo...

—Si el universo está en expansión, eso significa que en el pasado era más pequeño.

De acuerdo.

—Pero si en el pasado era más pequeño, eso significa que la gravedad, o la curvatura del espacio-tiempo, tuvo que haber sido mucho más acusada en aquel momento, puesto que toda su masa y energía estaba contenida en un volumen menor.

Eso dicen al menos las ecuaciones de Einstein.

—Muy bien.

En aquel entonces, el espacio-tiempo creció porque, por algún motivo, se produjo una expansión. Empezó siendo diminuto, con una densidad inmensa de materia y energía, y luego, tras 13 800 millones de años de expansión, se convirtió en lo que es hoy, con planetas como la Tierra y estrellas como las que ves sobre tu isla.

—Si esa es la imagen correcta, en el pasado, cuando el universo era pequeño.

Tanto da si la densidad era de masa o energía, ya que la masa y la energía tienen el mismo efecto sobre la geometría del espacio-tiempo. Eso también lo dijo Einstein.

—De momento vamos bien.

Bien. Si toda esa energía estaba contenida en un espacio minúsculo, seguramente tuvo que haber mucha fricción en su interior, y un montón de cosas más. Y en ese universo temprano tenía que hacer mucho calor.

¿Te suena correcto? Sí, no es la primera vez que llegas a esa conclusión.

Aunque también es cierto que se pueden sacar más conclusiones.

A ver qué te parece esta: puede que el universo fuera tan denso que nada, pero que nada de luz podía atravesarlo.

—Nada podía atravesarlo. Hummm... Parece la descripción de un muro.

Efectivamente, es lo que parece.

Muy bien.

Si el modelo de expansión es correcto en todos sus aspectos, en algún momento del pasado tuvo que existir un lugar así en el universo, y... sí, existe un lugar así. Has visto su superficie. Es la superficie de última dispersión, la cual limita lo que puede verse de nuestro universo.

Acabas de presenciar algo extraordinario.

Has vivido el sueño de todo físico: desde la pura lógica y usando las ecuaciones de Einstein y lo que has visto del universo desde que saliste de la playa, has entendido que en algún lugar de nuestro pasado tiene que existir un muro opaco a la luz. Y que la superficie de ese muro debería ser todavía visible. ¡Y lo es! Esta superficie, como verás a continuación, ha sido detectada en experimentos, e incluso se han trazado algunos mapas de ella.

Comprendo que, mientras lees esto, quizá no tengas la impresión de haber puesto patas arriba nuestra concepción del universo, pero eso se debe a que se te ha presentado la idea del muro antes de pensar en él. No has dedicado veintitantos años de tu vida a intentar demostrar que debería existir, mucho antes de que fuera visto. Pero los que hicieron esto sintieron algo increíble cuando se demostró que existía.

¿Que cómo se demostró?

Pues mira: ahora que empiezas a pasear por la playa, te das cuenta de un problema. La superficie que viste en los límites del universo visible de hoy no se corresponde exactamente con los límites que acabas de imaginar, ¿no? El muro de verdad, el que podemos ver a través de nuestros telescopios, es muy frío, mientras que el que has imaginado era en teoría muy caliente.

¿Cómo de caliente?

Ha habido quien, a partir de la ecuación de Einstein, ha calculado su supuesta temperatura y ha llegado a una cifra muy alta, en torno a los 3000 °C. Según sus descubrimientos, esa debía de ser la temperatura del universo entero cuando devino transparente.

Pero el muro que has visto en el firmamento no era así.

Y eso es un problema.

Ahora bien, ¿no se te olvida algo?

Para inferir la existencia misma de un pasado caliente, ¿no habías tenido que suponer que el espacio-tiempo está en expansión, y que el volumen visible del universo ha ido a más con el tiempo, para que cuadrara con lo que tus amigos han visto en el cielo? Y esa expansión ¿no crees que tendría algún efecto sobre la temperatura del universo?

Pues sí. No solo podría afectarla, es que debería hacerlo, y eso lo cambia todo.

Pongamos por caso el horno que tienes en la cocina. Caliéntalo de manera que el aire interior alcance una buena temperatura. A continuación, apágalo e imagina que el horno sufre un rápido crecimiento y alcanza el tamaño de un edificio. La temperatura interior pasará instantáneamente a ser mucho más baja que cuando era diminuto.

Los cálculos realizados ya en 1948 por los científicos estadounidenses George Gamow, Ralph Alpher y Robert Herman demostraron que, debido a la expansión del universo, solo debería persistir un tenue rastro de la radiación de 3000 °C, que llenaría nuestro universo visible como si emanase de la superficie de tu muro. ¿Qué temperatura esperaban encontrar? Pues algo entre -260 °C o -270 °C. Algo entre tres y trece grados por encima del cero absoluto.

Y así fue como en 1965, 17 años después de la conjetura de Gamow y sus colegas, dos físicos estadounidenses llamados Arno Penzias y Robert Wilson encontraron un curioso empleo a sueldo de los laboratorios Bell en Estados Unidos. Se les encargó que montasen una antena que recibiría las ondas de radio que se reflejaban en un globo satélite. Un trabajito sencillo... de no haber sido por un enigmático obstáculo, un ruidito bastante incordiante que podía escucharse en todas sus emisiones. Para librarse de él (y para que les pagaran) hicieron ingeniosísimas comprobaciones y buscaron el problema en la ingeniería del sistema. Pero nada funcionó. Hicieran lo que hiciesen, el ruidito seguía ahí, como si nada. Finalmente, y a falta de otro motivo, le echaron la culpa a las palomas o al resto de los pájaros que aliviaban sus digestiones sobre la modernísima antena. Pese a sus impresionantes logros académicos, ambos dedicaron una enorme cantidad de tiempo a limpiar una y otra vez la instalación mientras maldecían la existencia misma de las aves. Pero el ruido seguía sin desaparecer y, al final, tuvieron que llamar a unos amigos que eran físicos teóricos. Poco después, comprendieron que podrían haber seguido intentando desembarazarse del ruidito el resto de sus vidas sin la más mínima opción de conseguirlo. Lo que escuchaban no era consecuencia de los regalitos de los pájaros. El ruido ni siquiera provenía de la Tierra. Era una señal. Una señal con una temperatura, una temperatura de -270,42 °C. Y procedía del espacio. Llegaba de todas partes.

Gamow, Alpher y Herman lo habían anticipado. Era una consecuencia de las ecuaciones de Einstein. Era la temperatura restante del último momento opaco de nuestro universo: un fotograma, una instantánea de un momento acontecido hace más de 13 800 millones de años, cuando un universo de tamaño mucho menor estaba tan densamente repleto de materia y energía que la luz no podía atravesarlo.^[23]

Con sus experimentos, Penzias y Wilson habían confirmado una predicción de una teoría que a algunos científicos les parecía completamente absurda, hasta el punto de que incluso su nombre, la teoría del Big Bang, fue

acuñado a modo de burla por uno de los profesores más reputados de la época, el científico británico Fred Hoyle, de la Universidad de Cambridge.

Penzias y Wilson recibieron el premio Nobel de física en 1978. Habían descubierto los restos de calor del horno que había sido nuestro universo mucho tiempo atrás, el calor que irradia desde la superficie de última dispersión, la superficie que marca el fin del universo visible.^[24] Esta radiación, uno de los indicios más evidentes del Big Bang, se conoce como *radiación de fondo de microondas*.

Penzias y Wilson habían demostrado que las teorías sobre el Big Bang iban por buen camino.



Pero un momento: ¿por qué llamamos «microondas» a esta radiación?

Eso, una vez más, está relacionado con la expansión del universo.

La luz emitida en el momento de última dispersión, cuando el universo pasó a ser transparente, era muy, pero que muy visible y contenía diferentes colores, energías y frecuencias. Pero ya no resulta visible a nuestros ojos: se estiró.

¿Te acuerdas de que el color y la energía de las ondas de luz dependen de la distancia entre dos crestas sucesivas? Bien: al haber sido estirada por la expansión del espacio-tiempo durante 13 800 millones de años, y empezando por el color añil, va convirtiéndose gradualmente en azul, y luego en verde, amarillo, naranja, rojo... después se hace invisible y pasa a ser infrarrojo, y más tarde existe solo como microondas.

En esa fase estamos ahora. Lo que en su día era luz cálida y visible se ha convertido, tras 13 800 millones de años de expansión, en una fría luz de ondas de radio a $-270,42$ °C de temperatura.

Una vez comprendido esto, las teorías sobre el Big Bang dejaron de ser motivo de chanza.

Pero ¿qué significan esas teorías? ¿Apuntan acaso a que el universo se creó en la superficie de última dispersión?

No, no es eso lo que dicen.

En el capítulo anterior vimos que la superficie que contemplamos desde la Tierra en los límites de nuestro universo visible no significa nada para los

observadores que no están en el planeta, porque ellos tienen sus propios límites.

Ya, pero ¿y nosotros qué?

Si el universo no se creó allí, tiene que haber algo más allá.

¿Qué encontraremos allí? ¿Lo sabemos? ¿Es eso el Big Bang?

Pues sí. En cierto modo, sí.

El Big Bang se encuentra más allá de la superficie.

Pero no inmediatamente detrás de ella.

Sucedió 380 000 años antes.

380 000 años antes de que el universo pasase a ser transparente.

Tras la superficie de última dispersión (o al otro lado de ella, o antes), lo que más tarde se convertiría en nuestro universo visible puede describirse como una sopa de materia, luz, energía y curvatura que gana constantemente temperatura y densidad. Pronto estarás listo para viajar hasta allí y verla con tus propios ojos. De momento, sin embargo, contentémonos con decir que cuanto más nos adentremos en lo que hay tras el muro, en el pasado profundo de nuestro universo, más extremas son las cosas que encontramos. Si te adentras demasiado, acabarás rodeado de cosas que no tienen el menor sentido. Incluso el tiempo y el espacio terminan tan retorcidos que las ecuaciones de Einstein saltan por los aires, incapaces de explicar lo que está sucediendo.

Cuando esto sucede, los físicos teóricos llegan a un punto en el que ya no se puede decir nada sobre nada. Ese punto puede considerarse el nacimiento del espacio y el tiempo tal y como los conocemos. Según la definición que emplearemos a lo largo de este libro, se encuentra más allá del propio Big Bang.

Llegar hasta ese lugar e inferir qué es el Big Bang será nuestra misión en la quinta parte del libro.

En la séptima parte, tu viaje final, irás incluso más lejos, más allá de los orígenes mismos del tiempo y el espacio.

¿Que por qué no ir hasta allí ahora mismo?

Pues porque primero deberías tomarte unos instantes para respirar y congratularte.

Has avanzado mucho desde que aterrizaste por primera vez en la Luna. Has aprendido mucho sobre el universo, cosas que tus bisabuelos ni siquiera habrían creído posibles. Has aprendido que el tejido del universo es una

mezcla de tiempo y espacio llamada espacio-tiempo, y que no solo amolda su forma a lo que contiene, sino que también evoluciona según su geometría y contenido.

Has aprendido que es gigantesco, se mire como se mire, mayor incluso de lo que podemos ver, y que no conocemos ni su forma ni su extensión.

Nuestra realidad visible es enorme, sí, pero no siempre ha sido así.

Has aprendido que el universo tiene una historia, y que lo más probable es que tuviese un comienzo, hará ahora unos 13 800 millones de años, oculto tras una superficie opaca a la luz.

Y has aprendido también que lleva expandiéndose desde entonces y que se agranda con cada minuto que pasa.

Y deberías sentirte orgulloso de haber inferido todo eso.

Entonces, ¿por qué no vamos directamente al comienzo de nuestro universo?

Una buena razón podría ser que primero deberías intentar imaginar qué es lo que contiene el universo. Sin esa información, no tienes ni la menor opción de desentrañar sus secretos más profundos. Ni de conocer sus posibles orígenes, ni su posible sino.

—Vale, ¡pongámonos a ello! —te gritas a ti mismo, y abres los ojos.

Una suave brisa nocturna acaricia el océano. Hay luna llena. Su redonda superficie refleja los rayos del Sol y baña tu isla en sombras y luz plateada. Unas pocas tortugas emergen tímidas de las aguas para pasar la noche en la arena y quizá poner sus huevos, si el momento es el adecuado.

Y te sientes como nunca.

—¡Volveré! —les gritas a las estrellas.

Pero ya no estás solo.

Eres consciente de los cuchicheos a tu espalda y te das la vuelta, y te encuentras a tus amigos comentando tu situación con tu tía abuela.

Tras haberte visto hablar solo en la playa durante toda la noche, han decidido adelantar la fecha de tu vuelo de regreso y están buscando billetes para devolverte a casa cuanto antes. Tu avión sale en un par de horas. Te dicen que deberías hacer la maleta y descansar un poco.

Y ni tus gritos, ni tus protestas, ni tus objeciones filosóficas ni tus discursos sobre la libertad sirven de nada.

Te mandan para casa.

Bien. Puede que la idea de abandonar el mar, los pájaros y la dulce brisa te entristezca mucho, pero deja que te diga una cosa: tu viaje a lo largo del conocimiento científico moderno no ha hecho más que empezar.

Tercera parte

Rápido

1

Preparación

Nuestros sentidos están adaptados a nuestra escala, nuestro tamaño y nuestra supervivencia en la Tierra. Nuestros ojos están calibrados para percibir si una fruta está lo bastante madura, nuestros oídos para detectar el peligro y nuestra piel para sentir el frío del hielo y el calor del fuego. Los sentidos nos permiten ver, oler, tocar, saborear y oír el entorno, el mundo, la realidad en la que vivimos.

Pero aquí no termina el asunto.

Comparados con el planeta, somos bastante pequeños, y la Tierra tampoco es gran cosa comparada con el cosmos, como has podido comprobar a lo largo de nuestros viajes por el universo. Dadas las circunstancias, sería bastante extraño que nuestros cuerpos hubieran desarrollado unos sentidos espectaculares de amplio espectro, capaces de registrar todos los estímulos del cosmos habidos y por haber, solo para sobrevivir en nuestro modesto y pequeño planeta.

A lo largo de lo que llevamos de historia de la humanidad, nuestros cuerpos no han tenido necesidad de comprender los misterios del mundo subatómico, la velocidad de la luz o toda la gama de luces, de las microondas a los rayos X, para sobrellevar el día a día. De hecho, somos incapaces de diferenciar dos temperaturas extremadamente altas o extremadamente bajas: nos derretirían o congelarían los dedos antes de que pudiéramos valorar sus sutilezas. Para nuestra supervivencia, es mucho más importante apartar la mano del fuego o protegerla del frío.

La lengua nos permite detectar la suave acidez de un limón y saber si es comestible, pero no juzgar la diferencia cáustica entre el ácido sulfúrico y el clorhídrico, que nos la perforarían.

De forma análoga, nuestros cuerpos ciñen su percepción de las curvas del espacio-tiempo a su efecto gravitacional más directo. Lo único que necesitamos saber para nuestra vida cotidiana es que permanecemos a salvo sobre la superficie del mundo.

Así pues, debido a la naturaleza de nuestros sentidos, el mundo que percibimos es muy limitado y, aunque son las ventanas por las que nos asomamos al mundo, esos sentidos apenas son diminutos ojos de buey con vistas a un inmenso océano de oscuridad. A lo largo de millones de años, nuestra intuición de lo que con tanta confianza llamamos *realidad* se ha edificado sobre los únicos cimientos de la percepción sensorial.

Sin embargo, las cosas han cambiado.

Ahora somos capaces de ver más allá de los sentidos.

Y, más allá de ellos, la realidad cambia.

Durante las dos primeras partes de este libro, has viajado a lo largo y ancho del universo. Has atravesado vacíos intergalácticos e incluso has vislumbrado lo grande que es el universo en el que vivimos. Has descubierto que el carácter universal que Newton otorgaba a la gravedad en realidad no es tal porque, tal y como nos enseñó Einstein, la gravedad no es una fuerza, sino el resultado de una curvatura del espacio-tiempo.

Newton nos enseñó a usar palabras y ecuaciones para describir y predecir el comportamiento del mundo que percibimos a través de los sentidos. Con su teoría general de la relatividad, Einstein nos llevó más allá, y nuestros sentidos animales no fueron lo que te permitió seguirlo en ese viaje. Fue tu cerebro.

A través de él, descubriste una ley que combina espacio, tiempo, materia y energía en una sola teoría de la gravedad.

Ese fue tu primer *más allá*.



Estás a punto de conocer dos nuevos lugares más allá de la realidad conocida, como el aventurero que se adentra en continentes recién descubiertos en los

que nada le resulta conocido y donde nada puede darse por sentado, ni siquiera las leyes de la naturaleza.

El primero de esos lugares remotos es el reino de lo que viaja muy rápido y el segundo, que también es el más fértil de todos, es el de lo muy pequeño.

A primera vista (y a segunda, y a tercera...) te parecerán, sin duda, algo muy extraño, y te aseguro que tu «sentido común» te gritará que lo que descubras simplemente *no puede ser*, pero recuerda: toda la materia que constituye tu cuerpo pertenece a estas tierras exóticas. Lo cierto es que estás formado de realidades que obedecen a unas leyes de la naturaleza muy distintas a las que solemos experimentar cuando descansamos en una tumbona en una playa tropical. La realidad que percibimos día tras día solo se nos presenta como la vemos gracias a un mecanismo muy extraño.

2

Un sueño peculiar

Estás sentado en el asiento 13A, junto a una ventanilla. En el avión viajan setenta y tres pasajeros. Todos parecen normales, salvo tu vecino, que es un poco raro. Intentas no mirarlo y casi deseas no haber pedido un asiento separado de tu tía abuela. Apenas lleváis un par de minutos a bordo, pero erais los últimos pasajeros del embarque y el avión está a punto de despegar. Los amigos con los que has pasado las vacaciones se despiden de ti desde tierra, visiblemente aliviados por tu marcha. No puedes contener un suspiro. Aunque viajar por el universo ha sido algo espeluznante, también ha sido muy divertido, y no te apetece demasiado volar de vuelta a casa.

Los motores impulsan la nave hacia el cielo, escalando la curva espaciotemporal que crea nuestro planeta con su sola presencia, y algo te empuja contra el asiento y hace que te sientas más pesado que de costumbre. Ahora mismo experimentas la gravedad como si estuvieras sentado no en un avión, sino en la superficie de otro planeta cuya gravedad es más fuerte que la de la Tierra.

Deseas emprender otro viaje interestelar, por lo que cierras los ojos y dejas volar la imaginación.

En tu mente aparece un hermoso paisaje alienígena con árboles y lagos extraños y un cielo con dos soles. Recuerdas que, en cuestión de pocos años, la humanidad ha detectado miles de planetas que orbitan alrededor de estrellas lejanas y que algunos de ellos son potencialmente similares a la Tierra.

El zumbido de los motores del avión te sirve de nana, te duermes y empiezas a soñar que te encuentras en un lugar lejano, volando en un avión futurista que surca un cielo alienígena rosado y con dos estrellas. Una voz distante te informa de que el avión ha alcanzado altitud de crucero y se

dispone a acelerar hasta alcanzar la velocidad sin precedentes del 99,999999999 por ciento de la velocidad de la luz.

Más tarde, justo cuando el avión inicia el descenso, te despierta la voz de una azafata. Un rápido vistazo a tu reloj de pulsera te indica que has dormido ocho horas. Te estiras, bostezas, descubres la ventanilla y miras al exterior. Solo hay un Sol en el cielo y sus rayos rebotan en las nubes matutinas y las tiñen de un tono rosado similar al del cielo alienígena que imaginabas antes de quedarte dormido. Sin embargo, bajo el avión, la superficie de la Tierra no presenta, ni mucho menos, el aspecto que esperabas. Un océano aparentemente infinito se extiende hasta donde se pierde el horizonte.

Deberíais aterrizar en menos de un minuto, pero no se ve más que mar abierto, y una idea siniestra te hace estremecer. ¿Habrán secuestrado tu avión? El resto de los pasajeros, incluida tu tía abuela, que sigue sentada unas cuantas filas por delante de ti, parecen bastante relajados, y tu vecino raro está dormido, así que no, nadie ha secuestrado el avión.

De todos modos, algo va mal.

¿Se ha inundado la Tierra entera mientras dormías?

Recuerdas haber leído en alguna parte que, hace unos 10 000 años, los océanos del planeta eran mucho más profundos que hoy en día y cubrían gran parte de los continentes, por lo que, mientras miras por la ventanilla, te preguntas si es posible que hayas viajado hacia atrás en el tiempo y hayas despertado en una Tierra inundada y habitada por especies que se extinguieron hace mucho tiempo. La idea te hace sonreír, pero tienes la incómoda sensación de que algo no acaba de ir bien.

Por lo visto, has pasado durmiendo ocho horas del viaje. Mientras estabas frito, cualquier cosa podría haberos pasado a ti o al avión.

Es probable que, a lo largo de toda la vida, te hayas acostumbrado a despertarte más o menos en el mismo sitio en el que te quedaste dormido, como le sucede a todo el mundo. Ahora imagina por un momento que no hubieses dormido nunca y dieras la primera cabezada de toda tu vida. Seguramente, al despertar te sentirías bastante desconcertado. Lo primero que comprobarías sería dónde estás y qué hora es, como hacemos algunos, presas del pánico, cada vez que nos despertamos en un lugar que no es nuestra casa. De hecho, tanto si estamos en casa como si no, la mayoría de nosotros

comprobamos la hora por costumbre en cuanto abrimos los ojos por la mañana, pero muy rara vez (después de una fiesta espectacular, por ejemplo) nos aseguramos también de dónde estamos.

A pesar de todo, lo cierto es que nadie se ha despertado nunca en el mismo lugar en el que se ha quedado dormido. Jamás. La Tierra no se detiene cuando duermes y, con cada hora que pasa, recorre un poco más de 800 000 kilómetros alrededor del centro de nuestra galaxia, y tú con ella. Se trata del equivalente a unas veinte vueltas alrededor del planeta. Cada hora. Sin embargo, este detalle no le importa a nadie mientras cada cual se despierte en su cama.

Sin embargo, si la Tierra, o solo tú, estuvierais viajando en el tiempo a la vez, las cosas serían muy distintas, pero eso no es posible. Los viajes en el tiempo no existen. ¿O sí?

Mientras contemplas una enorme ciudad en mitad del océano por la ventanilla del avión, entiendes que no estás a punto de aterrizar en la misma Tierra que dejaste.

Comprensiblemente, entras en pánico e intentas ponerte en pie de un salto, pero el cinturón te sujeta y el rugido de los motores enmascara tus gritos. Haces señales frenéticas a un asistente de vuelo, que frunce el ceño enfadado y te indica por gestos que te estés quieto al tiempo que toma el micrófono para recordar a todos los pasajeros que los incidentes durante el descenso y el aterrizaje siguen siendo un delito en el año 2416.

Abres los ojos como platos.

¿Qué año ha dicho?

Un segundo después, el avión aterriza sobre el agua y se desliza a través de un pasillo de rascacielos de cristal cuyo estilo arquitectónico no reconoces.

Miras por la ventanilla con desconcierto y escuchas la voz de la azafata que, con el tono suave y profesional que utilizan los miembros de las tripulaciones de vuelo de todo el mundo, os da la bienvenida a casa el 4 de junio del año 2416, cuatro siglos después de la fecha de salida y tres días antes de la fecha de llegada prevista. Son las diez y veinticinco de la mañana, y la previsión apunta a que la niebla matutina se disipará pronto y dará paso a intervalos soleados. Los pasajeros deben prepararse para unas temperaturas unos diez grados por encima de la media de principios del siglo XXI. Gracias por volar con Aerolíneas McFly, miembro de la Alianza de los Cielos Futuros.

2416.

Miras la pantalla del teléfono. No hay cobertura. Típico. Por suerte, el reloj de pulsera todavía funciona y parece convencido de que solo has viajado durante ocho horas, no 400 años.

Algo va muy, pero que muy mal.

¿Es una broma? ¿Es cosa de tus amigos?

Compruebas el billete.

Es un billete de vuelta a casa, no cabe duda.

¿Te han drogado?

Peor todavía: ¿y si todo esto es verdad?

¿Te estará esperando un cobrador de morosos en el aeropuerto para pedirte los 400 años de alquiler impagado? ¿Qué habrá pasado con la persona con la que ibas a tener una cita dentro de poco? ¿Y con la leche que dejaste en el frigorífico? Una serie de preguntas prácticas importantes se atropellan en tu mente hasta que la cabeza comienza a darte vueltas.

400 años en el futuro.

¿Y el futuro de quién? No puede ser el tuyo porque tu cuerpo no parece haber envejecido en las ocho horas transcurridas desde el despegue. ¿El futuro de tus amigos y tu familia? Está claro que la ciudad en la que acabas de aterrizar no tiene nada que ver con las ciudades o los pueblos del siglo en el que te criaste.

El tiempo parece haberse acelerado fuera del avión mientras dormías.

Un momento...

¿Cómo es posible que el tiempo fuera del avión haya avanzado a toda velocidad y no haya ocurrido lo mismo dentro del aparato?

Suena absurdo pero, por lo visto, es justo lo que ha pasado.

No hay duda.

La culpable de lo sucedido es la velocidad excepcional a la que viajaba la aeronave.

3

Nuestro propio tiempo

La velocidad lo cambia todo, incluso el espacio y el tiempo.

Un reloj que se desplaza por el espacio a una velocidad muy elevada no avanza al mismo ritmo que el reloj de pulsera que llevas en la muñeca mientras das un paseo relajado por una playa tropical. La idea del tiempo universal (descrito como un reloj divino que, de algún modo, existe en nuestro universo y mide con el mismo rasero el movimiento de todo cuanto este contiene, cómo se produce su evolución, su edad y ese tipo de cosas) es irreal, y lo que te acaba de pasar en el avión es un buen ejemplo de ello.

Tal y como lo experimentamos los humanos, el tiempo parece transcurrir igual para todos, como algo *universal*, pero eso se debe tan solo a que, comparados con la luz, ninguno de nosotros (ni siquiera los pilotos de aviones de combate) se mueve mucho más deprisa o más despacio que los demás, lo que es una suerte para los fabricantes de relojes.

Aunque nuestros sentidos sean incapaces de percibirlo, el caso es que si asignáramos un reloj a cada persona, animal y cosa que hay sobre la superficie de nuestro planeta, todos marcarían horas diferentes. Todos tenemos un tiempo propio, atado únicamente a nosotros mismos. Einstein lo descubrió diez años antes de publicar su teoría de la gravedad, la teoría general de la relatividad que te presentamos en la segunda parte.

Por aquel entonces, con veintitantos años e incapaz de obtener un puesto en ninguna universidad porque nadie lo quería contratar, Einstein se ganaba la

vida como funcionario de patentes (más bien como ayudante) en Berna (Suiza). Sin embargo, aquello no le impedía pensar.

Mientras evaluaba solicitudes de patentes, Einstein trató de imaginar la apariencia que tenía el mundo para los objetos según su velocidad. Buscaba una teoría para los cuerpos en movimiento y todavía no se había obsesionado con la gravedad ni con el universo en su conjunto. Solo le interesaba cómo se mueven los objetos dentro de ese universo.

En 1905, con tan solo veintiséis años, publicó su obra y la comunidad científica mundial constató que alguien de quien nadie había oído hablar nunca, acababa de realizar una afirmación extraordinaria desde un escritorio perdido en algún lugar de los despachos de la Propiedad Intelectual Suiza: que los relojes no siempre avanzan al mismo ritmo. En realidad, lo que aseguraba era que el ritmo de los relojes dependía de la velocidad a la que se movía cada uno de estos respecto de los demás.

No acababa ahí la cosa: la teoría que formulaba este desconocido joven permitía predecir la diferencia temporal que cabía esperar que se produjera entre dos viajeros en función de su velocidad relativa.

Esa teoría se denomina la teoría de la *relatividad especial*.

Imaginemos a unos hermanos gemelos.

A dos en concreto, debido a que normalmente se presentan en parejas.

Un par de años después de la publicación de Einstein, el físico francés Paul Langevin calculó, mediante la relatividad especial, que si metiésemos a uno de los gemelos en un cohete y lo mandásemos a realizar un viaje espacial de seis meses al 99,995 por ciento de la velocidad de la luz, el que permaneciese en la Tierra tendría que esperar el regreso de su hermano durante cincuenta años. De este modo, según Einstein, los seis meses vividos por el hermano que viajó en el cohete deberían equivaler a cincuenta años del que se quedó en la Tierra, y lo mismo es aplicable al conjunto de la humanidad, ya que durante el trayecto del gemelo viajero nuestro planeta habría orbitado cincuenta veces alrededor del Sol. Aunque son gemelos, acabarían teniendo edades muy dispares, ya que uno de ellos sería cuarenta y nueve años y seis meses mayor que el otro. Era una afirmación bastante asombrosa.

Al calentar una barra de metal, se expande y se alarga debido a lo que conocemos como *dilatación*. Si diriges el calor con precisión, es posible lograr que la barra se dilate sin que también lo haga el yunque sobre el que está apoyada, por ejemplo. Es decir, se puede lograr que lo que la rodea quede inalterado.

Según la teoría de la relatividad especial de Einstein, ocurre un fenómeno semejante con el tiempo. Si un cohete vuela al 99,995 por ciento de la velocidad de la luz o un avión vuela al 99,99999999 por ciento de esa velocidad, lo que se mueve deprisa es el cohete, o el avión, y todo lo que contienen, no lo que los rodea, por lo que solo el tiempo de ambas aeronaves se ve afectado por su velocidad extrema en relación con el mundo que las rodea.

Lo que experimentarían los gemelos de Langevin y lo que has vivido tú mismo al viajar en ese avión tan extremadamente rápido es lo que los científicos denominan *dilatación del tiempo*. Cuanto más rápido se viaja, más pronunciada es la dilatación del tiempo.

Se trata de un fenómeno muy peculiar.

Pero la ley de la relatividad especial de Einstein añadía otra idea todavía más difícil de aceptar: que cuando tu tiempo sufre una dilatación, la longitud misma de las cosas se acorta...

Como cuando esto ha ocurrido estabas durmiendo en el avión, permíteme que te lleve de nuevo de visita al mundo de lo que va muy rápido.

Estás a punto de contemplar en qué se convierte nuestra realidad cuando la observamos durante un viaje a una velocidad inconcebible.

Olvidemos por un momento tu plano de realidad, e incluso la gravedad.

Imagina que estás en la Tierra, vestido con un traje espacial, y que llevas un par de cohetes a la espalda, unos aparatos tan buenos que nunca se les acaba el combustible. Te despides de tu vida actual con un beso y te dispones a despegar. Hacia el espacio.

Te elevas en el aire con la esperanza de no encontrar asteroides de trayectoria aleatoria en tu camino.

No eres una simple mente que vuela a través de la historia del universo, sino una mente y un cuerpo, como la última vez, que se embarcan en un viaje por el vacío del espacio por pura diversión.

Ya estás en el espacio.

Echas un vistazo a tu reloj.

El tictac avanza al ritmo de siempre y, al menos en apariencia, un segundo dura un segundo, sea lo que sea que significa eso.

A tu espalda, la Tierra está cada vez más lejos, pero imagina que hay un reloj enorme suspendido sobre ella, uno que puedes consultar en todo momento, estés donde estés, y que muestra la hora y el día que es en casa de tu tía abuela, por ejemplo.

Los propulsores son potentes.

Alcanzas el 87 por ciento de la velocidad de la luz.

En tu reloj de pulsera, los segundos siguen transcurriendo como siempre, y también lo hacen para las células de tu cuerpo, pero todo lo que te rodea empieza a parecer distorsionado de una manera grotesca.

Das la vuelta para mirar el reloj que hay sobre la Tierra.

Por cada segundo que marca tu reloj de pulsera, pasan dos en tu planeta natal.

Asombroso.

Envejeces a la mitad del ritmo al que lo hacen todos los que se han quedado en la Tierra, pero todavía tienes la sensación de que un segundo dura un segundo. El reloj de la Tierra es lo que parece moverse más deprisa.

Prosigues el viaje.

Ahora te desplazas al 98 por ciento de la velocidad de la luz.

Por cada cinco horas de la Tierra, pasa una para ti.

Miras hacia delante, a las galaxias lejanas.

Por algún extraño motivo, todas esas manchas de luz brillante que parecían extremadamente remotas hace un momento, ya no parecen tan distantes. Parece que las galaxias se te hayan acercado de un salto. Para ser precisos, parecen estar cinco veces más cerca que antes.

Pero eso es imposible.

Consultas tu reloj de pulsera y el taquímetro (un dispositivo que mide la velocidad, como en un coche) y compruebas que estás volando al 99,995 por ciento de la velocidad de la luz, es decir, la velocidad que Langevin otorgaba al cohete de uno de sus gemelos. Todavía no alcanza la velocidad del avión en el que viajaste pero, al 99,995 por ciento de la velocidad de la luz, los relojes de la Tierra avanzan 100 veces más deprisa que el tuyo. Un día y una noche en tu planeta de origen no suponen para ti más que un minuto y veintiséis segundos. Uno de tus años equivale a un siglo en la casa de tu tía abuela. Y las lejanas galaxias que tienes por delante, esas que, en teoría, se encuentran a

millones de años luz de distancia, parecen muy próximas. ¡No puedes estar tan cerca de ellas tras apenas un par de horas de viaje!

Pero lo estás.

Cien veces más cerca.

La distancia que te separa de ellas se ha acortado de modo proporcional a la manera en que tu tiempo se ha ralentizado en comparación con el de la Tierra.

No obstante, este fenómeno no es comparable con el de la expansión del universo, que sigue inalterable miras hacia donde miras.

Esto es distinto y solo sucede en la dirección hacia la que estás viajando.

Y todo depende *de ti y solo de ti*.

Así que olvídate del universo. Límitate a pensar en ti mismo y concéntrate en lo que ves.

A tu izquierda y a tu derecha, nada parece haber cambiado, y lo mismo puede decirse de cuanto hay por encima y por debajo de ti, ya que las galaxias lejanas siguen más o menos en el mismo lugar que ocupaban antes de que empezases a ganar velocidad. Sin embargo, es evidente que las que tienes delante de ti no siguen en el mismo sitio y, al volver a mirarlas, no te queda ninguna duda de que está pasando algo muy raro: el tiempo no es lo único que parece sujeto a la dilatación, sino que las longitudes y las distancias también parecen haberse. ¿Acortado? ¿Contraído?

Desde luego, es lo que parece. Es como si vieras todo el universo a través de una lente que distorsiona las imágenes y acorta las distancias de lo que hay por delante pero no funciona al enfocarla hacia los lados.

Vuelves a mirar tu reloj de pulsera.

Los segundos siguen pasando como siempre, pero no dejas de acelerar y todo parece cada vez más distorsionado. La situación te desconcierta y te asusta, algo muy comprensible, así que das media vuelta trazando un semicírculo enorme y te dispones a regresar a la Tierra. Supones que estará extremadamente lejos. ¡Pero la tienes justo delante! Vuelves la cabeza y observas que las galaxias hacia las que te dirigías hace apenas un instante están de nuevo donde al principio: ¡a una distancia descomunal! Mientras viajas a estas velocidades asombrosas, todo lo que tienes delante, por muy lejos que se encuentre, parece hallarse a tiro de piedra, mientras que las distancias en otras direcciones no cambian.

Unos minutos más tarde, todavía algo confundido, pasas disparado junto a la Estación Espacial Internacional, que órbita la Tierra a una velocidad endiablada. Miras el reloj, que sigue avanzando un segundo cada segundo. Y

pasas junto a una astronauta cuyos movimientos están 100 000 veces más acelerados que de costumbre. Las manecillas de su reloj de pulsera dan vueltas como locas. ¡Puedes ver la diferencia existente entre su tiempo y el tuyo! Puedes ver cómo progresa su vida. En su reloj, diez horas pasan en el mismo tiempo que una minúscula fracción de segundo lo hace en el tuyo. Y ella se mueve en consonancia, como la estación espacial, la Tierra y todo lo que las rodea. Tus propulsores siguen impulsándote y te llevan más allá de la Tierra, cada vez más deprisa, hacia el infinito y...

Pasa medio segundo en tu reloj y la astronauta ya está de regreso en la Tierra. Parpadeas un par de veces y ya está muerta, sus hijos han crecido y han tenido descendencia, y la Tierra rota miles de días con sus noches, pero ya estás tan lejos que no lo puedes ver.

Pasan unos segundos más.

Sigues acelerando.

Regresar a la Tierra ya no tiene sentido. Aterrizarías en un futuro tan remoto que seguramente te sentirías una antigualla y te tratarían como tal.

El universo que tienes delante cada vez parece más cercano y más plano, pero si miras hacia los lados, todo tiene el mismo aspecto de siempre. Las distorsiones solo se producen hacia delante, en el sentido hacia el que estás viajando.

Sigues acelerando.

Cada vez te aproximas más a la velocidad de la luz pero, de nuevo, algo no va bien: aunque hasta este momento los propulsores te han permitido acelerar sin contratiempos a través del espacio y el tiempo, hace un rato que no ganas mucha velocidad.

Da la impresión de que la energía de tus propulsores se está convirtiendo en... masa.

Sí, estás seguro de ello. Te vuelves más pesado por momentos.

Años de dieta echados a perder por unos cohetes.

¿Quién lo iba a decir?

La idea te molesta y gritas: «¡Un momento!». Todo se detiene.

Estás en el espacio, flotando en algún lugar lejano, probablemente a millones de años en nuestro futuro, pero completamente inmóvil. Y, muy convenientemente, el universo entero se ha detenido contigo. No se mueve nada.

Puedes descansar un momento.

Genial.

Consideremos conjuntamente los tres aspectos en contra del sentido común que presenta el viaje a alta velocidad que acabas de realizar.

Para empezar, tu tiempo y el de todas las personas de la Tierra (incluida la astronauta, cuyo tiempo es tan semejante al del enorme reloj que flota sobre la casa de tu tía abuela que podemos considerarlos idénticos a efectos prácticos) transcurrían a un ritmo distinto. Los relojes mecánicos que ambos llevabais no seguían ni mucho menos el mismo ritmo y, cuanto más rápido viajabas, más pronunciada se volvía la diferencia. Ese es el primer cambio. Es raro, de acuerdo, pero es así.

Lo segundo que experimentaste fue que las distancias se acortaban por delante de ti: aquello que aparentaba estar muy lejano mientras no te movías rápido parecía muy cercano cuando lo hacías. Eso también es raro, estoy de acuerdo. Sin embargo, es cierto. Se llama *contracción de la longitud*.

El tercer cambio que experimentaste fue el aumento progresivo de tu masa, un detalle como mínimo molesto, aunque quizá no tan inesperado como los otros dos, dado que ya sabes que $E=mc^2$. Empecemos por examinar este particular efecto secundario del viaje a alta velocidad.

Nada que tenga masa puede alcanzar la velocidad de la luz y, mucho menos, superarla. Eso es una ley. Así pues, cuanto más deprisa viaja cualquier cosa con materia, más difícil se vuelve acelerarla. Para visualizar lo que esto significa en la práctica, imagínate volando tan deprisa que con solo añadir un kilómetro por hora más al taquímetro alcanzases la velocidad de la luz.

Ahora imagina que te sacas una pelota de tenis del bolsillo y la lanzas hacia delante, digamos que a unos 20 kilómetros por hora.

En la Tierra, eso sería fácil pero, en estas circunstancias, no lo es. En realidad, es imposible. Nada puede moverse más deprisa que la luz, así que, mientras viajes tan solo un kilómetro por hora por debajo de la velocidad de la luz, la pelota, sencillamente, *no podrá* viajar 20 kilómetros por hora más rápido.

Nada te impide lanzar la pelota, eso es obvio, pero si esta no puede viajar más deprisa que la velocidad de la luz, está claro que algo deberá cambiar mientras te precipitas al vacío que tienes frente a ti. La respuesta nos la ofrece nuestra vieja amiga $E=mc^2$: la energía adicional que imprimes a la pelota al lanzarla hacia delante se transforma en masa, dado que no puede transformarse en velocidad.^[25]

Ya sabías que la masa se puede transformar en energía (en el seno de las estrellas, por ejemplo) y en este caso nos encontramos con un ejemplo del fenómeno contrario: la energía se convierte en masa. Eso lo explica todo: gracias a la teoría de la relatividad especial de Einstein, has aprendido por qué estabas ganando cada vez más masa antes de gritar y congelarlo todo.

Y ahora, examinemos los otros dos problemas que se te han presentado durante el viaje a alta velocidad: la dilatación del tiempo y la contracción de longitudes.

La mayoría de las personas (entre las cuales me incluyo) se sienten tan abrumadas como fascinadas ante el hecho de que no exista un tiempo universal. Nuestro sentido común, engrasado por millones de años de evolución sobre la superficie de nuestro minúsculo planeta, se rebela intuitivamente contra la idea. No obstante, aunque podemos ver sus efectos en nosotros mismos y en lo que nos rodea, el tiempo es un concepto bastante abstracto, un flujo intangible de algo totalmente invisible. Aunque nos parezca rara, sin duda podemos llegar a concebir la idea de que no sea algo tan regular como solíamos pensar.

El espacio, por su parte, es algo con lo que creemos estar bastante familiarizados. Pero es un error. No lo conocemos tan bien como pensamos.

¿Crees que un metro siempre mide un metro?

Pues te equivocas. Depende de quién lo mire.

El espacio y el tiempo están enlazados: si el tiempo cambia, las distancias también tienen que hacerlo.

¿Te preguntas por qué *tiene* que ser así?

¿Por qué *se tienen* que contraer las distancias y las longitudes si se dilata el tiempo?

La respuesta reside en la existencia del límite de velocidad absoluto e inquebrantable de la naturaleza: la velocidad de la luz.

Si las distancias no se contrajesen, ya habrías superado ese límite.

En el espacio exterior, la luz viaja a unos 300 000 kilómetros por segundo.

Si alguien te observase desde la Tierra mientras vuelas al 87 por ciento de la velocidad de la luz te habría visto recorrer 260 000 kilómetros en uno de sus segundos.

Sin embargo, debes recordar que los segundos que experimentas tú al volar a tal velocidad son distintos de los tuyos. Al 87 por ciento de la velocidad de la luz, uno de tus segundos equivalen a dos segundos en la Tierra, y en el transcurso de esos dos segundos, el observador terráqueo te habrá visto viajar 520 000 kilómetros, el doble de la distancia que te ve recorrer en un segundo.

No tiene nada de especial, ¿verdad?

Pues sí tiene algo de especial, porque, aunque para tu observador habrás viajado 520 000 kilómetros en dos de sus segundos, para ti solo habrá pasado uno de los tuyos, lo que implica que has recorrido 520 000 kilómetros en un segundo y, como la velocidad de la luz es de 300 000 kilómetros por segundo, deberías haber batido el récord universal...

Sin embargo, eso está prohibido, y no por la policía de tráfico, sino por la naturaleza. Recuerda: *nada* puede viajar más rápido que la luz. A principios del siglo xx, muchos experimentos ya habían determinado tanto la idea como el hecho de que, en el espacio exterior, la luz siempre viaja a esa velocidad (ni más, ni menos). Newton no habría podido explicarlo valiéndose de su visión del mundo, pero Einstein lo consiguió con la suya.

Según su teoría de los cuerpos en movimiento, la teoría especial de la relatividad, los tiempos y las distancias tienen que dilatarse y contraerse de forma que, independientemente de quien lo observe, ningún objeto pueda superar el límite de la velocidad de la luz desde el punto de vista de nadie.

¿El tiempo de un observador situado en la Tierra transcurre al doble de velocidad que el tuyo? Entonces, desde tu punto de vista, las distancias que recorres equivalen a la mitad de las que el observador te ve cruzar.

Si viajas al 87 por ciento de la velocidad de la luz, no viajas a 520 000 kilómetros por segundo, sino a 260 000. Lo que parecería ser un kilómetro para un observador situado en la Tierra, para ti no es más que medio kilómetro.

Tu velocidad siempre es la misma, tanto si la mides tú como si lo hace cualquier otra persona.

La velocidad no depende del observador. El tiempo y las distancias, sí.

Si cuando volabas a mayor velocidad, las galaxias lejanas te parecían mucho más cercanas es porque lo estaban. De verdad. Y esto no se aplica solo a las distancias: los propios objetos se encogen por efecto de la velocidad. Un cohete de ese tipo y todos sus pasajeros se contraerían a ojos de cualquier

observador. Incluso tú. Al 87 por ciento de la velocidad de la luz, mientras volabas como Superman con el puño en alto frente a ti, te encogiste a la mitad de tu tamaño normal a ojos de cualquiera que te observase desde la Tierra, pero si alguien hubiese volado a tu lado, no se habría dado cuenta porque también se habría encogido su cinta métrica...

Todo esto es consecuencia de la aceptación de una velocidad de la luz fija, finita e insuperable.

Este es el razonamiento que Einstein culminó en su teoría especial de la relatividad de 1905, la cual establece las leyes de la naturaleza aplicables a cualquiera que viaje a (excepcionalmente) altas velocidades.

¿Extraño? Sí.

¿Contraintuitivo? Sin duda.

Pero así es como funciona la naturaleza.

¿Y qué pasa con la gravedad? La hemos dejado de lado a propósito hasta ahora, pero si deseamos disponer de una visión realista de nuestro universo, necesitamos traerla de vuelta. En un instante, retomarás tu viaje a gran velocidad a través de un universo cuyo tejido, el espacio-tiempo, interactúa con su contenido energético y lo envuelve, creando gravedad.

Pero volvamos a ti.

Estás en el espacio exterior y todo sigue congelado.

La Tierra está en algún lugar muy lejano a tu espalda y la astronauta que viste ya lleva mucho tiempo muerta y enterrada. Estabas dirigiéndote en línea recta a galaxias remotas que ahora parecen mucho más cercanas.

Solo debes recordar que ahora el tiempo y el espacio son partes inseparables del espacio-tiempo, el tejido del que está compuesto nuestro universo, que la gravedad es el efecto resultante de la alteración que sufre ese tejido debido a la energía que contiene, sea cual sea su forma, y que la masa es energía.

Cuando congelaste el viaje, estabas ganando masa.

Vamos a descongelar la imagen.

¿Preparado?

Vuelves a estar volando.

Tu cuerpo se mueve a una velocidad extraordinaria y los propulsores siguen impulsándote hacia delante a toda potencia. Cada vez ganas más masa y, una vez devolvemos la gravedad al panorama, tu masa en aumento curva cada vez más el espacio-tiempo que te rodea.

Ahora mismo, la masa de tu cuerpo equivale a la de una montaña pequeña.^[26]

Las rocas junto a las que pasas volando empiezan a deslizarse por la pendiente que creas y pronto comienzan a caerte encima.

Te hacen daño al golpearte pero, como cada vez adquieres más masa sin aumentar de volumen, eres más denso que antes, así que estas se desintegran en pedazos minúsculos.

A medida que acumulas más y más energía, adquieres la misma masa que tiene la Tierra.

Has capturado rocas de gran tamaño e incluso planetas pequeños a tu paso. Ahora orbitan a tu alrededor.

Eres tan pesado, y las curvas que creas en el espacio-tiempo alrededor de tu propio cuerpo son tan pronunciadas, que el universo que ves se distorsiona miras hacia donde miras, no solo al frente. Y esto ya no se debe a la velocidad, sino a la gravedad, a la curvatura del espacio-tiempo y a la energía que has acumulado en tu interior. Debido a esta energía, el espacio y el tiempo, íntimamente entrelazados en el tejido de nuestro universo, están tan deformados que el universo te parece distorsionado y acelerado a tu alrededor, como si tu tiempo hubiera pasado a ser más lento que el de cualquier otro reloj del universo.

Tu masa equivale a la de cinco Tierras y está concentrada en el interior de tu cuerpo. Por supuesto, te cuesta mucho mover las manos o cualquier parte del cuerpo, y llegas a un punto en el que ya no te puedes mover.

Sinceramente, si estuviera en tu piel, me detendría inmediatamente.

¿Por qué?

Porque, tarde o temprano, si sigues acumulando energía en el interior de tu cuerpo, terminarás convirtiéndote en un agujero negro.

Y eso no es una buena idea en ningún sentido.

Desgraciadamente, tienes demasiada masa para ser capaz de moverte, así que ni siquiera puedes comprobar si algún interruptor oculto puede apagar los propulsores.

Tienes las manos pegadas a las caderas, empiezas a colapsarte en ti mismo y...

—¡Basta! —gritas, presa del pánico, y te encuentras de vuelta en el avión, junto a la ventanilla.

Tu vecino raro te está mirando.

A juzgar por su expresión, parece que lo has despertado.

No hay duda de que es un tío raro pero, ahora mismo, seguramente tú pareces más raro todavía.

Murmuras un «perdón» casi inaudible y te vuelves hacia la ventanilla para mirar el exterior.

Amanece.

Nada indica que vayas a aterrizar en una ciudad futurista. Ni rastro de galaxias lejanas que se encuentren más cerca de lo debido.

No te órbita ningún planeta pequeño. Solo vuelas.

Miras el reloj de pulsera.

Por lo visto, llevas ocho horas de vuelo.

—¿Le importaría decirme por qué ha gritado? —te pregunta tu vecino raro.

—¿Dónde estamos? ¿Qué año es? —preguntas con los ojos como platos.

—Perdón, ¿cómo...?

—¿En qué año estamos? —insistes con nerviosismo.

—¡En 2016! —contesta el hombre, medio divertido.

La azafata anuncia que el avión está a punto de iniciar el descenso y te das cuenta de que lo has soñado todo. No has viajado al futuro, sigues aquí, volando con destino a tu encantadora ciudad natal, con sus carreteras asfaltadas y sus edificios de ladrillos.

La azafata sigue explicando que la temperatura exterior es de 12 °C y que la niebla matutina se disipará antes de mediodía.

2016.

Menudo alivio.
Qué sueño más extraño.

4

Cómo no envejecer

En cualquier caso, lo que acabas de experimentar no ha sido un simple vuelo imaginario.

Has podido vislumbrar realmente el aspecto que tendría el universo si pudieras moverte muy, pero que muy deprisa. Los científicos han denominado a las velocidades más allá de las cuales no se pueden pasar por alto los extraños efectos que acabas de experimentar *velocidades relativas*, y todo lo que acabas de soñar obedecía a las leyes de la naturaleza, tal y como las entendemos hoy en día, desde una perspectiva relativista.

Evidentemente, ningún humano ha alcanzado jamás una velocidad semejante, pero las partículas que nos rodean sí lo han conseguido. De hecho, lo hacen constantemente, pero en 1905, cuando Einstein presentó estas ideas tan fascinantes, era difícil comprobar cómo se comportaban.

En realidad, tras la publicación de la teoría de la relatividad especial tuvieron que pasar sesenta y seis años antes de que dos científicos estadounidenses, Joseph Hafele y Richard Keating, diseñaran un experimento capaz de detectar los extraños efectos de dilatación temporal que Einstein había previsto.

Nos encontramos en 1971.

Hafele y Keating han adquirido tres relojes atómicos, los relojes más precisos que se hayan fabricado jamás. Una vez se sincronizan entre sí, permanecen sincronizados con una precisión extraordinaria: no cambian más de una milmillonésima de segundo en el transcurso de millones de años. Son muy, pero que muy fiables.

Como íbamos diciendo, Hafele y Keating disponían de tres de estos relojes. Sincronizados.

Se los llevaron a un aeropuerto.

Dejaron uno en tierra, en el vestíbulo del aeropuerto y, literalmente, reservaron un asiento para cada uno de los otros dos en dos vuelos comerciales distintos.

Cuando imagino la reacción del resto de pasajeros no puedo reprimir una sonrisa...

El caso es que ambos vuelos despegaron, uno hacia el este y el otro hacia el oeste, y dieron la vuelta a la Tierra antes de aterrizar de nuevo en el aeropuerto de origen para reunirse con su colega sincronizado con base en la Tierra. Como la Tierra rota sobre sí misma hacia el este, volar en dirección este u oeste supone una pequeña diferencia para la velocidad relativa general de los aviones y el aeropuerto.

Si la naturaleza se comportase según cree nuestra intuición, los tres relojes atómicos deberían permanecer sincronizados independientemente de los aviones. En el reloj universal que Dios tiene en la mesita de noche, un segundo siempre es un segundo, así que el segundero debería marcar al mismo ritmo un segundo tras otro. Todos los relojes que has visto y utilizado, mecánicos o no, coinciden en ese punto, así que el asunto debería quedar zanjado. Pues no. A la naturaleza le importa bien poco lo que crea nuestra intuición, y resulta que esta se equivoca. Lo que sucede es que los relojes que solemos usar no son lo bastante precisos para ayudarnos a entender que, aunque nuestra intuición puede equivocarse, Einstein no lo hacía.

En cuanto los dos aviones aterrizaron de nuevo en el aeropuerto, Hafele y Keating comprobaron que los tres relojes atómicos ya no estaban sincronizados.

El reloj del avión que volaba hacia el este se había atrasado 59 milmillonésimas de segundo comparado con el que había permanecido en el aeropuerto. El que había viajado hacia el oeste, se había adelantado 273 milmillonésimas de segundo.

Si los tres relojes hubiesen permanecido en el mismo sitio, habrían tenido que pasar más de 300 millones de años para que se produjese un desajuste de este tipo de forma natural.



Según Hafele y Keating, el desajuste se debía a dos motivos.

El primero tiene que ver con las velocidades implicadas, es decir, con la relatividad especial: tal como había predicho Einstein, las velocidades relativas de los tres relojes habían causado unos minúsculos, pero medibles, efectos de dilatación del tiempo.

El segundo motivo, sin embargo, no tiene nada que ver con las velocidades, sino que se relaciona con la gravedad y la teoría general de la relatividad de Einstein: del mismo modo que una pelota pesada que rueda sobre una lámina de goma dobla más la goma que le queda cerca que la que está más alejada, según Einstein, el efecto de la Tierra sobre el espacio-tiempo debería ser más pronunciado cerca de su superficie que a la altitud a la que vuelan los aviones, por lo que el ritmo al que fluye el tiempo se altera a diferentes altitudes.

Ambos efectos, independientes entre sí, ya se habían calculado antes de que Hafele y Keating hicieran su experimento.

Y los resultados cuadraban.

Las teorías de Einstein predecían que, en comparación con el reloj que se había quedado en tierra, el reloj que había volado hacia el este debería de terminar atrasándose hasta 60 milmillonésimas de segundo, mientras que el que había volado hacia el oeste debería adelantarse unas 275 milmillonésimas de segundo.

El experimento demostró que tenía razón.

Puede que no te parezca un resultado impresionante porque las diferencias temporales citadas parecen minúsculas (y lo son), pero recuerda que un avión no viaja tan rápido y que la Tierra no es un objeto cósmico demasiado grande. Si volásemos más rápido o nos acercásemos más a un objeto espacial mucho más poderoso desde una perspectiva gravitacional, la diferencia temporal pasaría a ser enorme, como ya has experimentado en el avión de tu sueño, que iba a una velocidad cercana a la de la luz.

Huelga decir que, desde 1971, ha mejorado la tecnología con la que se puede realizar el experimento de Hafele y Keating y se ha podido confirmar el resultado con un grado de precisión cada vez mayor. El espacio-tiempo significa lo que significa: una mezcla de espacio y tiempo.

En el ámbito de nuestro universo, el ritmo al que avanza el tiempo depende del observador: depende del lugar en el que te encuentres, de lo que tengas al lado (el factor gravedad) y de tu velocidad. A principios de siglo,

esta idea era muy abstracta pero, hoy en día, se trata de un hecho ratificado por experimentos que todos tenemos que aceptar.

En el universo en el que vivimos, el tiempo y las distancias no son conceptos universales. Dependen del observador, de quien los experimente y de quien esté mirando lo que ocurre. Ambos son conceptos relativos, ya que, de otro modo, la velocidad de la luz no sería fija ni limitaría a las demás.

¿Cómo ha aprovechado la humanidad este conocimiento? ¿Ha cambiado nuestra vida cotidiana? La parte que tiene que ver puramente con la velocidad sí la ha cambiado, y mucho. No solo nuestra tecnología usa a menudo partículas con movimiento acelerado para transmitir información en todo tipo de comunicaciones, sino que la relatividad especial también nos ha ayudado a entender cómo funciona toda la materia de la que estamos hechos. Como verás muy pronto, los electrones de los átomos que forman tu cuerpo —y casi todo lo que existe en el mundo de lo muy pequeño— se mueven realmente rápido.

Sin embargo, todo lo concerniente a la relación entre la gravedad y el espacio-tiempo, por fascinante que nos parezca, solo ha ayudado a la construcción de un aparato de consumo general: el GPS. Cada vez que consultas tu posición con un aparato GPS, ya sea en el teléfono móvil o en el coche, aprovechas el hecho de que el espacio y el tiempo están curvados alrededor de la Tierra. Cuanto más cerca de la superficie te encuentres, más marcada será la curva, y no solo en el espacio, sino también en el tiempo.

Los satélites que se comunican con tu aparato GPS para localizarlo contienen relojes. Si no se corrigiese la diferencia existente entre el paso del tiempo en la Tierra y en el satélite, no tardaría en detectar erróneamente tu posición, y el error aumentaría unos 10 kilómetros cada día, por lo que el GPS sería inútil. El GPS funciona gracias a las teorías especial y general de la relatividad de Einstein.

De acuerdo. Así son las cosas. No existe un reloj que funcione al mismo ritmo en todo el universo.

Si volvemos al avión de tu sueño, el que volaba al 99,999999999 por ciento de la velocidad de la luz, observaremos que iba muy rápido por el espacio en comparación con la Tierra y todos sus habitantes, y te puedes considerar afortunado por haber aterrizado en el año 2416.

Si hubieses ido todavía más rápido, habrías aterrizado en un punto más lejano del futuro.

¿Cuánto más lejos? De nuevo, depende de tu velocidad.

En cualquier caso, hay un límite, porque nada puede viajar más rápido que la luz.

Tal vez llegue el día en el que sea posible viajar a la velocidad de la luz pero, para hacerlo, deberías realizar un sacrificio enorme: deberías perder tu masa. Toda. La luz no puede transportar masa, y ese es el motivo por el que viaja tan rápido. La luz viaja sin equipaje.

Puede que te preguntes acertadamente: ¿y qué pasa con la materia?

Lo has experimentado tú mismo: todo lo que tiene masa gana todavía más masa al acelerar demasiado. Por ese motivo, para alcanzar la velocidad de la luz hay que empezar por no tener masa alguna.

¿Y qué pasaría si pudieras transformarte en un ser sin masa? ¿Cómo transcurriría tu tiempo? Por sorprendente que parezca, la respuesta es que el tiempo no transcurriría. Si llevases un reloj (que también tendría que haber perdido toda la masa), sus manecillas se detendrían sin más.

A la velocidad de la luz, el tiempo se congela.

Por completo.

Ese es el motivo por el que la luz que ha viajado a través de todo el universo hasta alcanzarnos es exactamente igual que cuando fue emitida. A diferencia de lo que sucedería con una postal, que tras un viaje de 13 800 millones de años estaría arrugada y rota y no se parecería en nada a lo que fue en su día, las imágenes que transporta la luz a través del cosmos no se ven afectadas por el paso del tiempo. Cuando captamos luz originada en los rincones más recónditos de nuestro universo visible, obtenemos imágenes del universo tal y como era entonces.^[27]

Como estás compuesto de masa, no tienes otra alternativa que estar sujeto al paso del tiempo y es imposible hacer nada al respecto. Para ser eterno, tendrías que convertirte en luz, lo cual es imposible, y, aunque lo consiguieras, el tiempo se detendría para ti, así que serías eterno pero no serías consciente de ello.

Dicho esto, aunque sea imposible ser eterno, quizá podrías alcanzar un futuro impensable para tus vecinos, pese a que seas masivo. Para lograrlo, bastaría con que viajases lo bastante rápido, como el avión de tu sueño, o que

te instalaras en un planeta mucho más poderoso gravitacionalmente que la Tierra.

Para cerrar el tema, sé que a algunos de vosotros, por algún motivo, no os gusta la idea de envejecer y os agradaría seguir siendo jóvenes tanto como os fuera posible o, como mínimo, mucho más tiempo que vuestro vecino. A vosotros, lectores especiales, os dirijo ahora la siguiente advertencia: no tiene sentido intentar correr muy rápido, hacerse piloto de Fórmula 1 o convertirse en piloto de pruebas de la RAF. Ni siquiera tiene sentido intentar montarse en un avión capaz de volar al 99,99999999 por ciento de la velocidad de la luz.

¿Por qué?

Porque *tu* reloj no cambiará en nada desde *tu* punto de vista.

A tus ojos, y en todo lo relativo a las células que forman tu cuerpo, un segundo siempre será un segundo, un día será un día, un año será un año, etcétera. Tu tiempo personal y tu ritmo de envejecimiento no se ralentizarán, no vivirás más tiempo y tus células seguirán creciendo y deteriorándose a la misma velocidad, y lo mismo es aplicable a cualquiera que viaje contigo. Viajar rápido o vivir en un planeta lejano mucho más denso que el nuestro no te permitirá vivir más tiempo porque, para ti, veinticuatro horas siempre te parecerán (y serán) veinticuatro horas. Sin embargo, los demás sí podrían verte vivir más tiempo que ellos.

Acelerar tu presente para alcanzar rápidamente el futuro de otra persona es en teoría posible (y cabe la posibilidad de que, un día, también lo sea en la práctica),^[28] pero vivir más tiempo viajando deprisa no lo es.

Gracias a las relatividades especial y general de Einstein, has descubierto un entorno realmente extraño alrededor del mundo al cual accedemos a través de nuestros sentidos, el mundo en el que desarrollamos nuestra vida cotidiana. Sin embargo, lo que has visto hasta ahora no es ni mucho menos tan extraño como lo que estás a punto de experimentar una vez regreses a la seguridad de tu casa.

Tras observar lo muy grande y lo muy rápido, ha llegado el momento de adentrarte en el mundo de lo muy pequeño.

Me temo que, si no crees en la magia, puede que tengas que empezar a creer en ella.

Cuarta parte
Un chapuzón en el mundo cuántico

1

Un nódulo de oro y un imán

Tu tía abuela se ha ido. Le pediste que se quedara unos días, aunque solo fuera para tener a alguien con quien analizar tu extraño sueño relativista, pero, por raro que parezca, declinó la oferta. Dentro de lo que cabe, te vio sano y bien, consideró que había cumplido con su parte devolviéndote a casa y embarcó en el primer avión a Sídney, dejándote a cargo de la colección completa de jarrones de cristal que había traído para animarte. Ahora ella está de vuelta en Australia y tú te encuentras de nuevo en casa. En tu sofá. Miras los horribles jarrones mientras jugueteas con un pequeño imán en forma de palmera que compraste en una tienda de recuerdos para no olvidar tu isla tropical.

Aún te queda una semana antes de volver al trabajo, siete días para encontrar todas las maneras posibles de deshacerte de todos esos jarrones, pero tienes dudas.

¿Han terminado tus aventuras por la naturaleza oculta de la realidad o hay otro nivel de conocimiento que está aún por llegar?

Sin hallar una respuesta clara, te levantas a prepararte una bebida caliente.

Mientras trasteas por la cocina para hacerte el café, te fijas de repente en un ladrillo que sobresale ligeramente de la pared. Asombrado, tiras de él y sale. Para tu sorpresa, detrás hay un dado de oro, escondido probablemente por algún antiguo (y bastante descuidado) inquilino. Te ocupa media palma de la mano y, por lo tanto, debe de valer una pequeña fortuna. Cómo no te habías fijado antes en el ladrillo es un misterio, pero no hay, literalmente, mejor novedad al volver a casa que encontrar oro en tu cocina, así que no le das demasiadas vueltas. Te sirves un poco de café y observas tu pequeño tesoro con una sonrisa maliciosa.

Has viajado por el cosmos, el reino de lo muy grande.

Has viajado rápido, lo más rápido que se puede viajar.

Pero no tienes ni idea del mundo de lo muy pequeño ni de qué se compone realmente la materia. ¿Está hecho el oro de ladrillos pequeños?

¿Por qué los materiales que te rodean son tan diferentes entre sí? ¿Por qué el oro es diferente del queso? ¿Por qué nosotros no somos líquidos a temperatura ambiente como el agua?

Con una sonrisa, decides anteponer la ciencia al dinero y cortas el oro en dos partes iguales para ver qué hay dentro.

A diferencia de algunos quesos (aunque no todos), las caras internas del lingote de oro tienen el mismo color, la misma ausencia de olor, el mismo todo que las caras externas. No obstante, vuelves a cortar en dos una de las mitades y, después, una vez más, y otra, en una búsqueda frenética de algún cambio a medida que vas obteniendo trozos más y más pequeños.

Al parecer, es oro todo el rato.

Uno podría pensar que puede seguir cortando infinitamente, pero no, es imposible. Tras veintiséis o veintisiete cortes por la mitad, conseguirás la pieza más pequeña posible: si la cortas de nuevo, aún obtendrás algo, pero ya no será oro.

Esta cantidad primaria de oro, la más ínfima que todavía es oro, es lo que los científicos llaman un *átomo* de oro.

Hay que tener en cuenta que, aunque pueda parecer que partir algo por la mitad veintiséis veces no es demasiado, sí lo es. Te puede resultar bastante difícil hacerlo en casa. Para que te hagas una idea, si tuvieras que hacer lo contrario: por ejemplo, si arrancarás una página de este libro y la doblaras por la mitad veintiséis veces, obtendrás una pila de unos 14 kilómetros de altura. Otra forma de expresar esto es decir que, si quisieras conseguir algo tan delgado como una página de este libro tras veintiséis particiones por la mitad, tendrías que empezar con una montaña un 50 por ciento más alta que el Everest.

Solo las mejores tecnologías modernas son capaces de apreciar un único átomo de oro.^[29]

¿Y qué hay del plomo, la plata o el carbono?

Cualquier material puro que hubieras encontrado en lugar del oro te habría llevado a la misma conclusión: parte por la mitad una pieza que te cabe en la palma de la mano, vuélvela a partir, una y otra vez, veintiséis veces (partición arriba, partición abajo) y acabarás obteniendo un átomo, algo que no puede partirse más veces sin que se convierta en algo diferente del material con el que empezaste. Por otro lado, el queso no es un material puro. Pero también

está formado por átomos, en este caso unidos entre sí. Toda la materia que conocemos en nuestro universo está hecha de átomos.

Entonces, ¿de qué están hechos los átomos?

Aún no puedes concretarlo, pero tienes la corazonada de que están repletos de componentes más pequeños y que estas piezas minúsculas son las mismas en todos los átomos del universo. Muy pronto viajarás por su mundo, pero puedo adelantarte que los materiales puros tienen propiedades muy diferentes y, por tanto, como todo el mundo sabe, valores muy distintos, porque la cantidad de estos componentes menores difiere de un átomo a otro. Ni qué decir tiene que cualquier comerciante dudaría de tu sano juicio si intentaras intercambiar un kilogramo de mercurio (con un valor aproximado de 23 libras esterlinas) por uno de oro (unas 26 000 libras, aproximadamente) o de plutonio (unos 2,6 millones de libras, dependiendo del mercado) basándote en que todos ellos están formados por átomos de estructura similar.

Entonces, ¿qué son estos átomos? ¿Qué confiere a los materiales hechos con ellos propiedades y formas tan diferentes? ¿Y por qué puedes cortar la mantequilla con un cuchillo, pero no un diamante, si todo está hecho de lo mismo?

Con el cerebro atiborrado de preguntas, te acercas a la nevera para sacar un poco de leche para el café y tomas despreocupadamente el imán en forma de palmera para pegarlo a la puerta, pero se te escapa de entre los dedos, se fija con fuerza a la superficie metálica y te quedas helado.

Hasta ahora, que un imán actuara de este modo era algo bastante común.

Pero ahora ya no.

¿Por qué hacen eso los imanes?

¿Cómo sabe el frigorífico que está llegando el imán? ¿Cómo sabe el imán que la nevera está ahí? ¿Cómo lo saben ambos? ¿Es acaso pura magia?

Por lo que sabes, nunca has visto que el imán y el frigorífico intercambien nada. No sale ninguna mano fantasmagórica de uno para agarrar al otro y tirar de él.

Aunque también puede ser que nunca hayas prestado la suficiente atención.

Despegas el imán del frigorífico y miras fijamente la superficie del reverso de la tosca palmera artesanal. Por lo que a ti respecta, la superficie oscura es plana.

Concentrado, lo agarras fuerte entre el pulgar y el índice, presionas la mejilla contra la puerta del frigorífico, sin dejar de mirar atentamente al aire, y vuelves a acercarle el imán.

Está a tan solo unos centímetros.

Notas algo.

Una fuerza.

Una fuerza de atracción que tira del imán hacia el frigorífico. O del frigorífico hacia el imán. O ambas cosas. Es difícil de decir.

Pero en el aire, nada. Eso seguro. No ves ni el más mínimo indicio de que esté ocurriendo algo que pueda explicar cómo detectan ambos la presencia del otro.

Ahora el imán está a medio centímetro de la nevera y la fuerza de atracción es cada vez mayor.

Te cuesta incluso mantener el imán donde está.

Y aún no se ve nada.

Lo sueltas. El imán te salta de los dedos hacia la puerta, donde se queda enganchado, tan felizmente instalado como tú perplejo de curiosidad.

Durante siglos, muchos hombres y mujeres se han cuestionado esta extraña atracción. Es rara, ¿verdad? El imán saltó. No pasó nada antes de que tocara la nevera y, sin embargo, había una fuerza. Eso es lo que nuestros ancestros pensaron al analizar los imanes. A pesar de no tener frigoríficos, comenzaron a hablar de una rara *acción a distancia* para describir esa cosa invisible que mueve a los imanes.

Realmente, es un poco como la gravedad.

Nadie puede ver la gravedad.

Cuando Newton dio con su sorprendente fórmula para describir cómo se atraen entre sí los objetos a lo largo y ancho del universo, no tenía la menor idea de *qué* era lo que producía la fuerza gravitacional que estaba describiendo. Pero Einstein lo descubrió un siglo después. La gravedad no es una fuerza, nos dijo, sino una caída. Una caída en las curvas del espacio-tiempo.

Entonces, ¿ocurre lo mismo con los imanes? ¿Crean también los imanes curvas pronunciadas en el espacio-tiempo?

No. Eso no puede ser. De ser así, todo (la madera, nosotros mismos, la cerveza, cualquier cosa, en realidad) caería hacia ellos, y no solo clavos, limaduras de hierro u otros posibles imanes. No has sentido nunca que un imán atraiga tus dedos. No, faltaba algo por descubrir. Y algo más se descubrió. Hará unos ochenta años. Y tiene que ver con eso que llamamos un *campo*. Con un campo cuántico, para ser exactos. Y ahora que conoces la

existencia de los átomos y los imanes, estás a punto de descubrir lo maravilloso que es un campo cuántico.

2

Como pez en el agua

Imagínate por un momento que eres un pez y que, por alguna razón, has decidido ver qué hay sobre el mar que te sirve de hogar. Desde las profundidades, tomas el mayor impulso posible y sales disparado hacia arriba como un torpedo. Tu objetivo es lo que los humanos denominamos superficie pero que tú, un pez, probablemente llamarás techo.

Nadas rápido. Después, más rápido aún. El agua se desliza frotándote las escamas. A medida que te acercas al final de tu mundo líquido, la luz ambiental se hace cada vez más y más clara. Ahora ya estás fuera. No hay más agua a tu alrededor. Vuelas por una especie de vacío azul (que los humanos llamamos atmósfera). Bates las aletas con todas tus fuerzas, pero no hay forma de nadar más alto. A diferencia de un pájaro, que en realidad es muy parecido a un pez, tu viaje ascendente llega a un abrupto fin. Te escurres, resbalando por la pendiente del espacio-tiempo que crea la presencia de la Tierra, y te vuelves a zambullir en el mar.

Un tiempo después, de vuelta en las saladas profundidades de tu hogar líquido, comentas tu experiencia con algunos amigos peces que comparten contigo un gusto similar por lo desconocido. Rápidamente os ponéis de acuerdo en que allí arriba, por encima del techo de vuestro inmenso mundo líquido, es imposible nadar. Sobre el mar, concluís, solo hay un vacío azul.

Los humanos sabemos algo más. Sabemos que sobre el mar hay aire y ahora conocemos que lo que llamamos aire dista mucho de ser nada. Si nos privan de él más de dos minutos, morimos.

Sin embargo, la mayoría de nosotros no somos mucho más sabios que el pez del fondo del mar: ¿acaso no pensamos que en el espacio exterior, por encima de la atmósfera, más allá de nuestro precioso aire, no hay nada de nada? ¿Acaso no creemos que el espacio no es más que un vacío negro?

Como verás al avanzar por el resto del libro, esto es un error.

El espacio exterior dista mucho del vacío.

Cuando, como pez, saltaste brevemente sobre la superficie del mar, penetraste en otro mundo, uno formado principalmente por gas y polvo, no por líquido.

Pues bien, el mundo en el que estás a punto de entrar es mucho más que todo eso. Se llama mundo cuántico; es el mundo de la materia elemental y la luz.

A diferencia del mar, que está hecho de agua y llega hasta donde empieza el aire, el mundo cuántico está en todas partes. En el mar, en la Tierra, en la materia de la que estamos hechos, en la luz y en el espacio exterior. Incluso en el espacio vacío. Sin embargo, a la humanidad le ha llevado milenios poder entrar en su reino. Las puertas al mundo cuántico están enterradas en lo muy pequeño. Y como el aire, la gravedad y muchas otras cosas pueden enturbiar la imagen, estamos a punto de olvidarnos de todo ello por un momento.

El mejor modo de hacerlo es devolverte al espacio exterior.

Cuando retiras el imán de la puerta de la nevera para volver a comprobar su superficie, no percibes signos visibles de ningún cambio. Sigue siendo negro. Y liso. Sin embargo, has sentido la fuerza. De eso no hay duda. Qué raro.

Vuelves a aplastar la mejilla contra el frigorífico para repetir el experimento y te concentras tanto que todo, a excepción del imán y la nevera, se desvanece a tu alrededor. El suelo, el aire, el nódulo de oro, las paredes, la cocina entera y también tu piso. Fuera. Tu ciudad. Fuera. Y también la Tierra y la Luna, y todo lo demás.

Estás flotando en el espacio exterior, en un mundo de ideas que obedece a las leyes de la naturaleza tal como se conocen hoy en día. No hay aire a tu alrededor. Tampoco gravedad. En realidad, no hay nada, salvo tú, el imán, el frigorífico y lo que sea que hace que los imanes y los frigoríficos interactúen.

A estas alturas, ya deberías estar acostumbrado a esta clase de situaciones, así que no te preocupas demasiado por ello y te centras en la tarea que tienes entre manos.

Notas la mejilla fría contra la puerta de la nevera. Aún tienes el imán en la mano. Lo sueltas y, en ese preciso instante, una nueva aventura comienza para ti: ¡empiezas a encogerte! A lo largo de tus viajes por el espacio-tiempo, miraste el universo desde una perspectiva más bien amplia para lograr entender lo muy grande y, después, tuviste que ver el mundo desde el punto

de vista de la velocidad extrema y viajaste increíblemente rápido. Ahora estás a punto de descubrir el mundo cuántico, así que te encoges.

Mucho.

Te estás convirtiendo en un mini tú. Un mini tú que mide lo mismo que un par de átomos.

¿Cuán pequeño es eso?

Veámoslo.

Mientras lees esto, el libro, o la pantalla, seguramente estará a unos cuantos centímetros de tus ojos. Lo más pequeño que tu vista puede percibir a esa distancia es una vigésima parte de un milímetro, un tercio del grosor de un pelo humano.

Ahora mismo, tu mini tú ha encogido a un tamaño 100 000 veces menor que el descrito. Aproximadamente a la escala justa para ver si realmente pasa algo entre el imán y el frigorífico.

Te concentras y, aunque algo atónito por el encogimiento, miras a tu alrededor en busca de unas manos fantasmagóricas saliendo de algún lado. Giras la mini cabeza a derecha e izquierda, arriba y abajo.

No ves nada de nada.

Sabes que el imán está en alguna parte de tu derecha y que el frigorífico está en algún sitio más allá de tu oreja izquierda, pero, desde tu nueva perspectiva, están demasiado lejos para que puedas verlos.

Así que esperas.

Y no pasa nada.

Nada de nada.

Tras un largo momento de pura soledad, decides intentar otra cosa: en lugar de ver, puede que el truco esté en *sentir*. Como cuando eras un crío y fingías tener superpoderes para pasar el rato.

Te paras a inspirar y espirar unas cuantas veces para concentrarte y, después, desconectas el sentido de la vista. Eres como un yogui minúsculo en el espacio. Más diminuto que el polvo. Con los ojos cerrados, despliegas lentamente los brazos como lo has visto hacer en las películas.

Al principio, no sientes nada. Pero, entonces, lo notas.

Te da la impresión de que eres un pez en el mar, como si todo lo que te rodea estuviera bañado de una especie de... ¿De qué? De agua, no, por supuesto. Abres tus mini ojos, ávido por ver de qué está hecho ese mar, pero la sensación desaparece de inmediato y, de nuevo, no hay nada a tu alrededor.

Es una impresión realmente extraña. Un poco escalofriante, incluso, pero no eres ningún cobarde y rápidamente deduces que, como tantas otras cosas en nuestro universo, lo que acabas de sentir es real, pero invisible a la vista.

Así que vuelves a cerrar los ojos para entrar en el mundo cuántico al estilo yogui.

El *mar* está ahí, a tu alrededor. Incluso hay... ¿corrientes? Sí. Eso parece. Se originan allá donde se supone que debería estar el imán y acaban en la nevera. Te rodean bucles de fuerza, que fluyen a través de ti, y comprendes que lo que estás notando es lo que hace que los imanes y los frigoríficos interactúen, lo que se conoce como *campo de fuerza electromagnética*. Más allá de tus mini ojos cerrados, aparece una especie de niebla de fuerza que se extiende a tu alrededor, por todas partes, una niebla que es más densa cerca del imán y del frigorífico. Las ondas que se propagan a la velocidad de la luz a través de ella te revelan que el imán y el frigorífico se están acercando el uno al otro, lo que significa que, tarde o temprano, chocarán, lo que significa que... Abres los ojos y ves, con pasmo y horror, el enorme imán negro que está a punto de espachurrarte.

Retrocedes, temblando de miedo.

Ahora estás tan cerca del imán que casi ves cómo los átomos se contonean en su superficie. Hasta parece que haya corrientes minúsculas en su interior. ¿De qué tipo son? ¿Son eléctricas? ¿Magnéticas? ¿Ambas cosas? No tienes ni idea, pero lo que es innegable es... ¡ESPERA! ¿QUÉ HA SIDO ESO?

Ha pasado algo.

Lo has visto.

No ha sido un brazo que salía del imán hacia la nevera, era luz. Virtual o real, es difícil saberlo, pero era luz. Ha aparecido de la nada, justo delante de tus mini ojos, procedente de encima de la superficie del imán. ¿O ha venido de dentro? Giras la cabeza hacia el lugar adonde ha ido y ves la puerta del frigorífico, inmensa, que también avanza hacia ti...

Aguantas la mini respiración.

Estás a un instante de ser espachurrado.

Cada vez aparecen más y más extrañas perlas de luz del vacío que, hace un momento, parecía separar al imán del frigorífico, un vacío que, definitivamente, ya no parece vacío. Las perlas de luz centellean a tu alrededor en un intercambio entre el imán y la nevera, como una horda de minúsculos ángeles que arrastrasen a ambos objetos el uno hacia el otro.

Hipnotizado por el espectáculo y convencido de que tu mini cuerpo está viviendo sus últimos momentos, te preguntas si esas partículas de luz son

producto de tu imaginación o son reales. Parecen virtuales, porque solo duran un instante y aparecen de la nada, pero también tienen un efecto muy concreto sobre el imán. Sí, estas centellitas transportan la fuerza que ha acercado el imán al frigorífico en tu casa.

Cierras los mini ojos.

Estás a punto de ser espachurrado.

Pero, ¡tachán!

Vuelves a estar en tu cocina, observando con perplejidad la puerta de la nevera, donde el imán acaba de incrustarse con un minúsculo ruido metálico.

Mientras te enjugas una gota de sudor frío de la frente, respiras, algo abochornado —a pesar de estar solo— por haber creído que se trataba de algo más que tu imaginación.

Pero parecía muy real.

Acabas de presenciar una *acción a distancia* que no se debe a la magia, aunque admito que es bastante escalofriante. Has visto, sin lugar a dudas, que la fuerza misteriosa que provoca la interacción de dos imanes, la fuerza electromagnética, viaja a través de partículas virtuales de luz, unas partículas tan extrañas que existen solo para un único fin: transportar la fuerza electromagnética. Han surgido entre el imán y la nevera, aparentemente de la nada, pero eso no es así. Acabas de descubrir que entre dos objetos cualesquiera del universo entero, sean imanes o no, existe algo, denominado *campo electromagnético*. Un mar de fuerza del que pueden surgir partículas virtuales de luz en cualquier momento.

Ahora mismo, mientras miras fijamente el frigorífico, el imán y la puerta se intercambian innumerables perlas virtuales de luz, pero tú ya no puedes verlas, y nunca serás capaz de hacerlo. Por eso se llaman virtuales. Surgen de un vacío que no es un vacío y desaparecen sin dejar que nadie las vea.

Esas portadoras virtuales de fuerza están por todas partes a tu alrededor, aquí y ahora, incluso dentro de ti.

Todas ellas pertenecen al campo electromagnético, una niebla invisible que no solamente llena el espacio entre las neveras y los imanes, sino todo el universo.

¿Qué pasa con los imanes que se repelen? Seguro que los has visto, ¿verdad?

Como pronto experimentarás cuando atraveses volando un átomo, las perlas virtuales de luz que acabas de conocer pueden atraer, repeler o no hacer

nada a la materia de la que estamos hechos, a la materia que nos rodea. Todo depende de lo que contenga la materia en cuestión. De hecho, resulta que depende de una única cosa: algo que los científicos llaman *carga electromagnética*. Y, del mismo modo que puedes medir tu masa con una balanza, también puedes medir la carga mediante un instrumento, aunque, básicamente, la tuya es cero, porque el cuerpo humano es electromagnéticamente neutro (de lo contrario, se te pegarían los imanes, algo bastante molesto). Sin embargo, no es el caso de las diversas partículas individuales que forman tu cuerpo.

En la naturaleza solo se encuentran dos tipos de carga electromagnética. Por convención, se las ha llamado positiva y negativa, o más y menos.

La regla es que esas perlas virtuales de luz repelen a las cargas *semejantes* (es decir, del mismo signo) y atraen a las opuestas. Positivo y positivo se repelen por efecto de la luz virtual que aparece entre ellas, y lo mismo ocurre con negativo y negativo. Y cuanto más cerca estén, más perlas virtuales de luz habrá y mayor será la fuerza de repulsión. A más y a menos, en cambio, les gusta abrazarse. Como a tu imán y a tu nevera. Y cuanto más cerca estén, mayor es la atracción entre ambos. A los objetos neutros, por otra parte, les traen sin cuidado estas perlas de luz, y se puede ser neutro con la misma cantidad exacta de carga positiva y negativa (tu cuerpo es así) o sin tener ninguna carga eléctrica (como algunas partículas que verás más adelante). Estas son las reglas del campo electromagnético.

Ahora bien, como esta explicación sobre cómo interactúan los imanes y los frigoríficos no se observa con la vista, podrías pensar que todo esto tal vez sea una construcción mental muy útil pero no necesariamente algo que se corresponda con el funcionamiento real de la naturaleza. Podrías argumentar que el campo electromagnético es solo una imagen que permite a los científicos describir cómo reaccionan los objetos cargados ante la presencia de un imán. Una imagen. Inteligente e imaginativa, sin duda. Pero nada más que eso.

Podrías pensarlo, claro está, pero te equivocarías.

El campo que acabas de conocer, esta niebla invisible que impregna el universo entero y, de algún modo, se vuelve más activa cerca de los objetos cargados y entre ellos, es mucho más que eso.

En primer lugar, es muy real.

De hecho, no solo rige todo lo que tiene carga eléctrica o magnética, sino también la entidad que engendra, a lo largo y ancho del universo, todas y cada una de las partículas con carga electromagnética, así como la luz. Los

electrones que pronto conocerás son una expresión de ello. La luz que tus ojos detectan es otra expresión de lo mismo. Ambas cosas son simples ondas en el campo.

Algunos de los científicos más brillantes de la Tierra en la actualidad consideran que el campo electromagnético es algo más elemental que los propios imanes. O que los frigoríficos. Más elemental que la luz, incluso. Y más elemental que tú. Por absurdo que esto último pueda parecer.

Antes de que acabe esta parte, serás consciente de la existencia de dos campos cuánticos más que también llenan todo el universo. Y te darás cuenta de que, hasta donde sabe la ciencia moderna, tú y yo, toda la materia que conocemos y vemos, y toda la luz que brilla por todas partes no somos más que expresiones de estos campos: ondas, una vez más. Los humanos somos, en realidad, como peces en el mar. Un mar hecho de campos. Como todo lo demás. Y, a pesar de que nuestros ancestros vivieron un día en el mar, tardaron igualmente eones en evolucionar y descubrir los campos cuánticos.

3

Al entrar en el átomo

Ya llevas bastante rato mirando con perplejidad el imán pegado a la nevera. Niegas con la cabeza y abres la puerta para sacar la leche que tan desesperadamente necesitabas antes de que el imán dirigiera tu atención a un fenómeno bastante escalofriante.

Vuelves a la mesa donde has dejado la taza y, cuando estás a punto de echarte la leche, el oro que hay al lado te detiene.

¿Qué son exactamente esos átomos de oro que has descubierto antes o los que se contoneaban en la superficie del imán? ¿Son como bolitas? ¿Son cubos? ¿Qué son exactamente las cargas sobre las cuales les gusta actuar a las perlas virtuales de luz del campo electromagnético? ¿Y qué demonios he querido decir con que son todo expresiones de algunos campos?

Como tal vez esperabas, estas preguntas te devuelven al estado de mini tú y te encuentras flotando en medio de la cocina, lejos de cualquier objeto familiar e interesado en saber de qué está hecho el átomo de oro que has separado antes.

Pero lo que te encuentras al principio no es un átomo de oro. Más bien se trata del átomo más pequeño que existe. El que compone el 74 por ciento de toda la materia conocida del universo: el de hidrógeno. El mismo átomo que estrellas como el Sol fusionan en su núcleo para crear otros más grandes y brillar como consecuencia de esta fusión.

Sin embargo, a decir verdad, no ves demasiado.

Hay *algo* delante de ti, estás seguro de eso, pero te está costando muchísimo encontrar *dónde* está, por no decir el *qué* es. Agudizando tus mini ojos para enfocar mejor no consigues percibir ninguna diferencia, así que, de nuevo, decides sentir al estilo yogui.

Sorprendentemente, funciona.

Tienes los ojos cerrados, pero puedes intuir algo.

Una especie de ola atraviesa el entorno del campo electromagnético... una ola que serpentea alrededor de una esfera... una esfera hueca, o un lóbulo hueco, más bien... y no es realmente una ola, de hecho... sino que parece algo esférico, no, lobular, con ondas que se mueven rápido... a una velocidad muy cercana a la de la luz, de modo que el mundo que ve debe de estar muy distorsionado, por no hablar del modo en que le pasa el tiempo en comparación con el tuyo, pero no está centrado en ninguna posición en particular. Vale, seamos francos, no sabes lo que estás describiendo, pero toda esta cosa esférica, lobular o como sea, que se mueve rápidamente,^[30] transporta una carga eléctrica. Puedes sentir su efecto en el fondo del campo electromagnético, tal como te pasó con el imán que se acercaba. ¿Eso es un átomo?

Sigues concentrado y te das cuenta de que hay algo más. Algo enterrado en lo más profundo, algo muy pequeño en comparación con el volumen que abarca la ola en movimiento, pero es algo que tiene que ser fuerte, muy fuerte incluso, para evitar que esa carga en movimiento que estás sintiendo se extravíe.

Comprendes que el átomo de hidrógeno tiene un núcleo envuelto por una carga en movimiento. Todos los átomos del universo poseen esta estructura: un núcleo de tamaño variable envuelto por una o más ondas de carga eléctrica.

Los científicos denominaron *núcleo atómico* a ese núcleo, mientras que la onda de carga que se contonea confusamente es un *electrón*.

Y he aquí una revelación desconcertante.

El electrón no es en absoluto el puntito que te imaginabas que era.

Sin embargo, para asegurarte de que no te equivocas, abandonas el modo yogui y abres los ojos. De un modo inesperado, la onda serpenteante desaparece de inmediato para convertirse en otra cosa, algo mucho más parecido a una partícula.

Bien.

En todos los átomos del universo hay electrones exactamente iguales que este, aunque se presentan en distinto número. Son la base de todos nuestros aparatos electrónicos y magnéticos, ya sea un ordenador, una lavadora, un teléfono móvil, una bombilla... o lo que sea. Todas nuestras herramientas relacionadas con la energía y la comunicación dependen de ellos.

Lentamente, muy lentamente, alargas una de tus manitas para cogerlo y estudiarlo más de cerca.

Por raro que parezca, el electrón cuesta mucho de coger. Cada vez que te las apañas para localizarlo por el rabillo de tus mini ojos, empieza a moverse erráticamente, como si el simple hecho de que trataras de encontrarlo le hiciera cambiar de rumbo de una forma imprevisible.

No es producto de tu imaginación.

Es un fenómeno real. Uno de los muchos que se dan en el mundo cuántico pero no en nuestro mundo cotidiano de jarrones de cristal y tazas de café.

Es parte de una incerteza elemental de la naturaleza tal como la vemos desde nuestro punto de vista. Verás con más profundidad qué significa esto en la sexta parte del libro, pero ya notas que pasa algo extraño. Lo que necesitas, piensas, es capturar este electrón y hacerlo cantar. Por supuesto que sí. Mini tú o no, te encuentras en un estado de mente pura aquí abajo: puedes hacer lo que te plazca. Y que te aspen si un minúsculo electrón puede demostrar que te equivocas. ¡Hop! Más rápido que el pensamiento, tal como tu mini ojo lo capta, justo ahí, a tu derecha, te abalanzas sobre él. Y ahí lo tienes ahora, en el puño derecho, que mantienes cerrado con fuerza. El electrón forcejea bajo tus dedos; es como si aleteara contra tu palma una mariposa que vuela cerca de la velocidad de la luz. Empiezas a apretar los dedos. Los electrones son partículas cargadas e interactúan con las que contiene tu mini mano a través de perlas virtuales de luz que surgen del campo electromagnético.

Aprietas más y más todavía, ávido por inmovilizarlo en la más minúscula de las prisiones y... de repente, ya no lo sientes. Ha desaparecido.

Abres el puño.

No hay ningún electrón ahí.

Estás absolutamente seguro de que no has dejado ningún hueco entre tus mini dedos pero, aun así, se ha escapado. Y no has sentido nada. Ha saltado a través de ti, sin tocarte.

Vuelve a contonearse alrededor del núcleo invisible del átomo de hidrógeno de donde lo habías cogido.

Qué grosero.

Pero ¿cómo lo ha hecho? ¿Cómo ha podido el electrón salir del puño sin tocarte? Bueno, ha excavado un túnel en tu mano. Y ha dado un salto. Un salto de récord. Un salto cuántico. Algo que está confinado al mundo subatómico y que no existe en la vida cotidiana al macro nivel de las cocinas, los jarrones y los aviones. O eso es lo que uno puede pensar.

Aún no has conseguido analizar el electrón, pero ya conoces una de sus sobrecogedoras propiedades: puede saltar como nadie. El fenómeno en sí se denomina *efecto túnel* o *salto cuántico*, y lo que pasa es que no se reduce a los

electrones, sino que *todas* las partículas que encontrarás en el mundo cuántico pueden saltar —o crear un túnel— de esta manera.

Ahora que hemos probado esto, detengámonos un segundo a reflexionar juntos sobre la terminología.

Cuando los científicos descubren algo nuevo, necesitan darle un nombre. Para lo muy pequeño, para el mundo cuántico, se inventan asociaciones de palabras en las que el término «cuántico» acompaña siempre a otro, normalmente vernáculo. Aquí tenemos «túnel», «saltar» o «mundo», todos ellos vocablos de fácil comprensión y que, en sí mismos, significan lo que significan para nosotros en el mundo cotidiano. Sin embargo, la presencia del término «cuántico» ya sirve de advertencia. «Cuántico» quiere decir que hay algo sospechoso. En el ejemplo que nos ocupa, lo sospechoso de crear un túnel cuántico es lo siguiente: los electrones crean túneles a través de las cosas, pero no hay ningún túnel.

Los saltos cuánticos difícilmente se producen a escala humana, pero imagínate que se dieran. Imagina que retrocedes al pasado, a cuando eras un niño, en esta misma cocina. Tu padre te acaba de pedir que recojas la mesa, pero es tarde y, de repente, sientes sobre tus frágiles hombros el peso de los cien kilómetros de aire que tienes encima. Murmuras algo casi inaudible, no muy distinto del gruñido de un oseño. Pero no funciona. La mesa te sigue esperando.

Te sientas en el suelo, totalmente desesperado. Y ahí que vas. De pronto te encuentras en el comedor, al otro lado de la pared de la cocina, cerca de la mesa, y todo —cubiertos, platos y vasos— ha creado un túnel, o ha saltado, o como quieras llamarlo, a través de la pared de la cocina. Puede sonar a cuento de hadas o a escena de *Mary Poppins*, pero, a decir verdad, con un salto cuántico como este, no hay forma de saber adónde saltarán los cubiertos, los platos y los vasos, así que es muy poco probable que acaben en el lavavajillas, y tu padre tendrá que comprar otros, porque no los vais a encontrar nunca.

Suena raro, ¿verdad?

Bueno, pues eso es el efecto túnel. Si las leyes cuánticas se aplicaran a nuestra escala, no existirían ni las puertas, ni las paredes ni la intimidad. Afortunadamente, y por razones bastante misteriosas, no se aplican.

Sin embargo, gracias al efecto túnel, casi todos los habitantes del reino de lo muy pequeño pueden cruzar cualquier barrera. ¿Cómo? Se entiende que pueden hacerlo porque se les permite tomar energía prestada del campo

cuántico al que pertenecen, el mar en el que nadan, un mar que llena hasta el último rincón del espacio-tiempo. Toda la que quieran. El sueño de cualquier atleta.

Pero eso no te dice qué *aspecto* tiene un electrón, y más vale que te sea franco: puede que tu mini tú se lleve una pequeña decepción con esto. Describir un electrón no va a ser posible, justamente debido al campo cuántico al que pertenece.

El campo electromagnético está por todas partes y cada electrón individual que existe en el universo, además de pertenecer a él, es exactamente idéntico a cualquier otro, sea donde sea y cuando sea. Si intercambias uno por otro, el universo ni se enterará. Por este motivo, es decir, debido al campo cuántico del que son una expresión, los electrones no pueden describirse como se haría con un objeto macroscópico. Pertenecen al campo. Son parte de él, como una gota de agua en el vasto océano o una ráfaga de viento en el aire nocturno, son como una gota y una ráfaga que no puedes localizar. Mientras no profundicemos, las gotas y las ráfagas son justamente como el océano o como el viento. Están mezcladas en el interior de una entidad mucho más vasta que ellas, sin una entidad propia.

En el mundo cuántico, cuando profundizas, los electrones se convierten en partículas con propiedades concretas, como cuando se sacan las gotas del océano, pero sus propiedades son algo que nunca has visto. No se comportan como cabría esperar o, al menos, como nuestros sentidos esperarían partiendo de nuestra experiencia en la vida cotidiana.

Aunque sepas dónde está un electrón, *no puedes* saber lo rápido que se mueve: su velocidad se vuelve imprevisible. Por eso te ha costado tanto encontrar el electrón que estaba alrededor del átomo de hidrógeno. Cada vez que lo veías, empezaba a moverse erráticamente. Eras incapaz de seguirlo y se desvanecía ante tus ojos.

De un modo similar, aunque sepas cuánta energía tiene un electrón, *no puedes* saber por cuánto tiempo la conservará.

Energía y tiempo, posición y velocidad, son conceptos que no son independientes entre sí entre los campos del mundo cuántico. Aprenderás más sobre esto en la sexta parte pero, por ahora, ya que tu mini tú está viajando por el mundo cuántico por primera vez, puedes considerarlo un aviso (y tal vez para algunos un rompecabezas). Tu mini tú tiene que tomárselo como lo hacías cuando descubrías el mundo de niño: sin prejuicios. ¿La posición y la velocidad no pueden darse simultáneamente? De acuerdo. Así es como es.

¿Las leyes cuánticas permiten saltos y túneles etéreos? Vale, que así sea. La interpretación llegará a su debido tiempo, o no.

Dicho esto, todo este asunto del efecto túnel a mí también me suena como una verdadera sandez y alguien me contó que, una vez, después de dar una clase de física cuántica a sus alumnos, Einstein les dijo: «Si me habéis entendido, es que no he sido claro». O sea que, si a ti también te suena a sandez, todo va bien. La naturaleza no se ofende. Está ahí para que la descubramos, eso es todo. Pero ¿es verdaderamente real?

Bueno, algunos se tomaron el efecto túnel muy en serio y trataron de encontrarle aplicaciones prácticas. Lo sorprendente es que lo lograron.

Hará unos treinta años, el físico alemán Gerd Binnig y el físico suizo Heinrich Rohrer, ambos empleados de IBM en Zúrich (Suiza), llegaron a la conclusión de que podían usar el efecto túnel para explorar cualquier superficie a una escala extraordinariamente pequeña y ver qué aspecto tenía esta. Creían que el efecto túnel les permitiría ver realmente los átomos.

Por lo general, un electrón no abandona a su átomo si no tiene un lugar mejor adonde ir. Y, normalmente, si hay otro lugar adonde ir, tiene que estar bastante cerca, ya que, si no, el electrón no podría llegar. Así es a menos que emplee su poder cuántico para atravesar el vacío y saltar cualquier obstáculo.

Con una aguja extremadamente fina y afiladísima conectada a un detector de corriente eléctrica, Binnig y Rohrer escanearon la superficie de un material sin tocarlo. Al estar bastante lejos de él, no tendrían que haber detectado nada, porque la distancia entre la superficie y la aguja era demasiado grande para que un electrón pudiera cruzarla. Sin embargo, detectaron corrientes eléctricas creadas por los saltos de los electrones.^[31] Y cuanto más cerca estaba la aguja de un átomo de la superficie de la materia, más saltos detectaban y mayor era la corriente eléctrica. Entonces mapearon estas corrientes en un diagrama y obtuvieron una imagen en 3D a nivel atómico del material, con un grado de detalle extraordinario. Habían construido un microscopio, un *microscopio de efecto túnel*, como se conoce hoy, con el que se podían ver los átomos. Su precisión es asombrosa: entre un 1 y un 10 por ciento del diámetro de un átomo de hidrógeno. En otras palabras, si los átomos de hidrógeno tuvieran pies, un microscopio de efecto túnel sería capaz de contarlos, y tal vez hasta los dedos.

Los átomos de oro como los que has encontrado en la cocina fueron escaneados de este modo hace décadas y los microscopios de efecto túnel actuales se usan para describir cómo se interconectan los diferentes tipos de átomos en el interior de la materia que nos rodea, así como en los materiales

de última generación creados por el hombre. Con un microscopio así, los ingenieros han adquirido la capacidad de mover átomos individuales de un lado a otro. El efecto túnel es real. Y tiene aplicaciones prácticas.

Binnig y Rohrer recibieron el premio Nobel de física^[32] en 1986 por diseñar este instrumento.

Los electrones, como el que has intentado capturar, moran en la capa externa de todos los átomos del universo. Y son escurridizos. Pero, a pesar de la incapacidad de describir exactamente su aspecto usando la terminología de la vida cotidiana, los científicos han aprendido a aceptar su extraño comportamiento.

Hasta donde sabe la ciencia de hoy en día, los electrones no están formados por partículas menores. A diferencia de los átomos, no pueden cortarse, dividirse o partirse de ningún modo. Se forman simplemente a partir del campo electromagnético; son una expresión del mismo.

Puesto que no se componen de nada más que de sí mismos, y son una de las expresiones más básicas y elementales del campo electromagnético, los electrones reciben el nombre de *partículas elementales*.

En cambio, las perlas evanescentes de luz que aparecían antes entre el imán y la nevera se denominaban *partículas virtuales*. Eran *portadoras de fuerza*. Existían solo para transportar la fuerza electromagnética entre las partículas con carga eléctrica o magnética.

Los átomos, formados por componentes más pequeños (como los electrones y lo que sea que constituye su núcleo), *no* son partículas elementales. Están compuestos por muchas de esas partículas elementales.

Ahora bien, los electrones no se limitan a interactuar con el resto del mundo a través de fotones virtuales. También pueden jugar con fotones *reales*, con la luz real que detectan tus ojos. Este juego de materia y luz es lo que hace que veamos el mundo tal cual lo observamos.

Tal como se entienden hoy en día, los fotones reales, como los electrones, son también expresiones elementales del campo electromagnético, pues no se componen de nada más: son meras ondulaciones en un mar invisible, ondulaciones cuánticas capaces de comportarse como ondas y como partículas.

Ahora hay un puñado de ellas inundando tu átomo de hidrógeno. Han hecho un largo camino para llegar ahí. Durante aproximadamente un millón de años se abrieron paso esforzadamente desde el núcleo de fusión del Sol

hasta su superficie, que alcanzaron hace poco más de ocho minutos y medio. Libres, al fin, para poder correr por el espacio exterior sin el lastre de la materia, atravesaron a la velocidad de la luz los 150 millones de kilómetros que separan la superficie frenética de la estrella de nuestro planeta. De todos los lugares a los que podían haber ido, estos fotones acabaron estrellándose contra la atmósfera terrestre hace tan solo una fracción de segundo, y solo para atravesarla y llegar... a la ventana de tu cocina. Una vez ahí, no les quedaba demasiado por hacer. Atravesaron el cristal de la ventana y envolvieron el átomo de hidrógeno.

Tu mini tú observa cómo se mueven en estampida por la cocina, con la esperanza de ver cuándo tocan el átomo. Sin embargo, lo atraviesan y se estrellan contra la pared de la cocina.

Excepto uno, que ha desaparecido.

Se ha esfumado.

¿Dónde ha ido?

Miras a tu alrededor, sorprendido, hasta que te das cuenta de que el electrón esquivo de tu átomo de hidrógeno se agita ahora de un modo diferente. Teniendo en cuenta que es como una ola que envuelve al núcleo, sus crestas están más cerca entre sí.

¿Cómo puede ser?

Se ha excitado.

Se ha tragado el fotón.

Recuerda que vimos por primera vez este fenómeno en la segunda parte, cuando verificábamos el primer principio cosmológico, no hace mucho.

Pero ahora está ocurriendo algo aún más interesante: después de un breve instante, el electrón escupe de repente el *mismo* fotón que había desaparecido, el que había engullido, sin un rumbo fijo.

Te paras un momento a reflexionar y sacas la única conclusión posible: que las partículas elementales más conocidas del campo electromagnético, es decir, los electrones y los fotones, pueden interactuar entre sí y lo hacen. Que los electrones y los fotones pueden transformarse los unos en los otros.

Rumiándolo mejor, comprendes que, en realidad, siempre lo habías sabido: ¿acaso no sientes calor cuando te pones a tomar el Sol? ¿Acaso no se te calienta la piel cuando en invierno te pones delante de unos troncos que arden en la chimenea? Tu piel, como toda la materia del mundo, está hecha de átomos cuyas capas externas están plagadas de electrones. Cuando la luz del

Sol los alcanza, los átomos de la piel y sus electrones atrapan algunos fotones que se convierten en electrones excitados, los cuales forcejean más rápidamente y crean el calor del que disfruta (o no) tu cuerpo.

Se trata de un descubrimiento increíble que vuelvo a repetir: la materia y la luz pueden transformarse la una en la otra, y así lo hacen.

En nuestro mundo, todo es un juego de materia y luz.

Pero no solo de eso.

4

El duro mundo de los electrones

En los dos últimos capítulos, aunque solo has visto un imán que interactuaba con una nevera y le has echado un vistazo a la superficie de un átomo, has hecho grandes descubrimientos. Has resuelto el misterio de la *acción a distancia* del electromagnetismo y has visto cómo juegan la materia y la luz entre sí. Por supuesto, este juego no es más que una faceta de nuestro mundo, pero es un fenómeno para el cual nuestros humildes sentidos humanos han sido preparados. La luz entra en contacto con nuestro cuerpo constantemente, excitando a los electrones de nuestra piel, nuestros ojos y nuestras retinas, calentando la materia de la que estamos hechos y transmitiéndole energía. Los átomos también pueden escupir la luz que sus electrones han engullido, lo que nos hace *brillar*, a nosotros y a los objetos, con uno o más colores, los del átomo o grupo de átomos que se los tragó. Eso es lo que da un color a nuestros ojos, piel, pelo y ropa, y a todas las plantas y piedras, como también confiere a las estrellas lejanas un tono particular. Los rayos de luz tocan un tomate y este absorbe toda la luz visible, que lo calienta o queda almacenada en su interior, salvo los rayos de luz roja, que, al no ser de ninguna utilidad para los átomos del tomate, son rechazados y emprenden de nuevo su viaje para decirles a nuestros ojos que estamos mirando un precioso tomate rojo. Sin los electrones y los fotones, no veríamos el tomate, ni nos veríamos entre nosotros, ni sabríamos de qué está hecho el resto del universo, ni qué obedece, allá a lo lejos, a las mismas leyes físicas que se aplican a nuestro alrededor. Pero lo más increíble de todo es que, gracias a los sentidos, nuestros cuerpos transforman todas esas interacciones etéreas en sensaciones que procesan nuestros cerebros. Gracias a eso, la humanidad descifró la ciencia tras esas interacciones y la existencia de campos que llenan el universo entero. Y eso no es solo algo increíble, es sencillamente milagroso.

Pero ¿qué ocurre con el centro del átomo, el núcleo? ¿Está formado también por electrones? ¿Acaso existe otra expresión del campo electromagnético? Tiene que ser así, porque, por lo que tú sabes, el átomo completo de hidrógeno que estás observando es eléctricamente neutro. Por lo tanto, el núcleo también debe tener una carga opuesta a la del electrón que lo rodea para que ambas se anulen y se vea neutro desde fuera. Pero ¿cómo es que no la has visto?

Mientras tu minúsculo tú analiza el átomo de hidrógeno que flota en medio de la cocina, se te ocurre de repente que este paisano, a pesar de lo que realmente contiene, sea lo que sea eso que compone su núcleo, te recuerda muchísimo al vacío. Todos los átomos conocidos del universo comparten este hecho: la cantidad de vacío que hay entre el núcleo y los electrones.

Raro.

Entonces, ¿por qué el imán no se limita a atravesar la superficie del frigorífico? ¿Por qué los vastos espacios vacíos de los átomos del imán no se limitan a planear dejando atrás los vastos espacios vacíos de los átomos del metal de la puerta? ¿Por qué, entonces, se queda pegado a la puerta? ¿Es que los átomos que chocan son incapaces de *no* chocar y atravesarse como dos nubes de vapor, sin acusar ninguno la presencia del otro? Pues no. Afortunadamente. O el mundo no sería sólido. Y la razón de ello son los electrones, y no el núcleo. Para descubrir el porqué, nos vendrá bien el átomo de oro que ya tienes preparado.

El átomo de hidrógeno que has visto hasta ahora es el átomo más pequeño que existe. Un átomo de oro es mayor. Da un salto para ponerte a su lado y obsérvalo.

Lo primero que notas es que no tiene un único electrón solitario serpenteando a toda velocidad alrededor del núcleo, sino setenta y nueve, todos ellos idénticos al solitario que zumbaba alrededor del núcleo del átomo de hidrógeno.

Lo segundo que aprecias es que, a pesar de que todos son idénticos, estos electrones serpenteantes no comparten su territorio. Nunca. Simple y llanamente, evitan estar en el mismo lugar y al mismo tiempo, porque resulta que la naturaleza se lo prohíbe: pertenezcan al átomo que pertenezcan, sus ondulaciones no se solapan en ninguna parte, un hecho que impone condiciones muy estrictas a su potencial cohabitación en cualquier átomo. Así pues, no tienen más remedio que organizarse en capas, como una cebolla, alrededor del núcleo, y eso es exactamente lo que hacen. Solo dos electrones

pueden ocupar la primera capa, la más interna. Solo ocho pueden instalarse en la segunda, dieciocho en la tercera, treinta y dos en la cuarta, etcétera.

Estas cifras son bien conocidas y son las mismas para todos los átomos conocidos del universo. Lo que hace que un átomo sea diferente de otro está relacionado con el número de electrones que contiene, no con la naturaleza de estos, ya que son siempre idénticos.

El hidrógeno, el más pequeño de todos los átomos, tiene un electrón cuya órbita se inscribe en la primera capa electrónica. El helio tiene dos electrones, que con sus órbitas cubren la primera capa. El neón, por escoger un tercer átomo al azar, tiene diez electrones y sus primeras dos capas electrónicas están saturadas. Las propiedades químicas y mecánicas de todos los átomos están relacionadas con la saturación de su corteza externa.

Si quieres añadir un electrón más a un átomo, no puedes limitarte a colocarlo donde te plazca y, por descontado, jamás en una capa que ya esté llena. Bien, si los electrones fueran partículas en forma de puntitos, eso sería difícil de concebir, pero, aunque en realidad pueden ser como canicas minúsculas en ciertas circunstancias especiales (sabrás más sobre ello en la sexta parte), también resulta que *no* pueden serlo, pues tienen que comportarse como ondas. Y estas últimas pueden llenar fácilmente cualquier volumen. Así que, por eso, en una capa electrónica llena, no queda espacio para ningún recién llegado más. Si un electrón extra (ya sea en solitario o formando parte de otro átomo) quisiera formar parte realmente de un átomo ya construido, o bien tendría que instalarse lejos de los existentes, donde hubiera espacio libre, o bien tendría que ocupar el lugar de uno de ellos y echarlo. Los electrones detestan que su ondeante personalidad se vea solapada. Es un mundo cruel.

Esta regla de no cohabitación tiene un nombre. Se denomina *principio de exclusión de Pauli* y fue descubierto en 1925 por el físico teórico suizo Wolfgang Pauli,^[33] que recibió el premio Nobel de física en 1945.

El principio de exclusión es la razón por la que los imanes se quedan pegados a las puertas de las neveras sin atravesarlas o por la que tú no puedes atravesar paredes ni hundirte a través del suelo, que quizá sea lo más importante. También explica por qué puedes sostener este libro entre las manos: los átomos de la cubierta tienen unos electrones externos que se niegan rotundamente a ceder su lugar a los de tus dedos. Y tampoco tus electrones se van a mover. Así que se mantendrán separados y, por más fuerza que hagas, no conseguirás que actúen de otro modo. Las ondas electrónicas no se solapan. Nunca. No intentes atravesar una pared para demostrarme (o

demostrarle a Pauli) lo contrario. Te romperías la nariz antes de que los electrones llegaran siquiera a notar algo.

Dicho esto, aunque a los electrones les gusta la intimidad, no les importa ser compartidos y eso les permite, afortunadamente para nosotros, construir la materia de la que estamos hechos, tal como estás a punto de ver.

Estabas a punto de sumergirte en tu átomo de oro, pero eso va a tener que esperar, porque resulta que a un átomo de oxígeno le ha dado por pasar por ahí.

Te lo quedas mirando fijamente.

Con sus ocho electrones, el oxígeno es más pequeño que el oro, pero mucho mayor que el hidrógeno.

Su primera capa atómica está llena, pero hay sitio para dos más en la capa más externa, la segunda, que contiene seis electrones y podría acoger a ocho.

Los electrones solitarios de los átomos de hidrógeno no van a dejar escapar una oportunidad así.

Y hay dos átomos de hidrógeno por ahí cerca, así que, en cuanto el oxígeno se aproxima, ¡hop!, el primer electrón solitario de hidrógeno salta y se reúne con la familia que forma el oxígeno para no volver a estar solo jamás.

Y, ¡hop!, tal como acabas de ver, el otro electrón de hidrógeno ocupa la última plaza.

Y puesto que todos los electrones del universo son exactamente idénticos, nadie es capaz de decir cuál de ellos estaba ya ahí o cuál llegó más tarde. La asimilación perfecta.

Los núcleos, ligados a sus electrones por las perlas virtuales de luz, no tienen más remedio que seguirlos, así que ahora los tres átomos están unidos entre sí. Dos de hidrógeno y uno de oxígeno forzados a cohabitar.

Hecho esto, no queda más espacio disponible para otros electrones y la construcción entera es estable.

Al compartir los electrones tal como se ha descrito, los átomos se convierten en parte de estructuras mayores llamadas *moléculas*. La molécula, cuya construcción acabas de presenciar, está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

Dos de H y uno de O.

H₂O.

Es agua: la molécula más preciada que conocemos para la vida.

Sin embargo, a escala universal, el agua no suele ensamblarse en tu cocina, sino en el espacio exterior, en el interior de nubes enormes de polvo estelar esparcidas por las galaxias a las que los astrónomos llaman *nebulosas*.

En el interior de estas nebulosas, el oxígeno forjado en la explosión de las estrellas se mezcla con el hidrógeno, que se encuentra en todas partes.

Cuando las estrellas mueren, esparcen sus semillas y sientan así las bases para que se formen las moléculas de agua, además de otras muchas moléculas más.

Mediante la compartición de uno o más electrones, muchos átomos pueden unirse de muchas formas diferentes para crear cadenas de distinta complejidad. De este modo, la naturaleza ha construido moléculas de distintos tamaños y propiedades, desde las más pequeñas (el agua está formada por solo tres átomos) hasta las más extraordinariamente grandes, como tu ADN, que, con sus miles de millones de átomos unidos, transporta toda la información necesaria para crear a alguien como tú.

En la última década se han mandado muchos satélites al espacio exterior con la intención de arrojar algo de luz sobre la génesis de estas moléculas que originaron la vida en la Tierra y desvelar el misterio del origen del agua que hoy cubre el 70 por ciento de la superficie de nuestro planeta. ¿Proviene nuestra agua de asteroides que chocaron contra nuestro planeta hace unos cuatro mil millones de años? ¿O de los cometas que también chocaron contra ella? Y, ¿transportaban estas rocas y bolas de hielo algunas de las semillas moleculares de la vida, si no todas? Es posible que lo sepamos pronto, pues muchos de esos satélites ya están en posición o a punto de llegar a ella.

Mientras tanto, una cosa sí que sabemos y es que solo se necesitaron seis átomos para construir todas las moléculas requeridas para que medrara la vida en la Tierra: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre. A estos seis elementos, se les conoce con las siglas inglesas CHNOPS.

A propósito, puesto que todo tu cuerpo está formado por moléculas compuestas por diversas combinaciones de estos átomos, eres un CHNOPS. Sin ánimo de ofender.

Ahora, mientras contemplas tu cuerpo de CHNOPS, te viene a la cabeza otro interrogante: si tanto tú como el aire estáis compuestos por esos mismos átomos que comparten electrones, entonces ¿cómo es que tú, de manera muy afortunada, puedes andar a través del aire pero no puedes atravesar una pared?

Una cuestión realmente importante.

Por lo que sabemos, el aire está lleno de átomos que tienen tantos electrones como desean, así que no deberían dejarte pasar. No. Es la regla de Pauli.

La respuesta es que no todos los átomos del aire están compartiendo sus electrones y, por lo tanto, no están tan adheridos entre sí. En cambio, los que forman un sólido como tú, sí. En lugar de impedirte el movimiento, los electrones que rodean a los átomos que conforman el aire se van apartando a medida que los tuyos empujan para abrirse camino. A veces, chocan accidentalmente al apartarse y crean un poco de viento. Ahí, de nuevo en algo accidental, reside la diferencia entre un gas y un sólido.

En los líquidos, los átomos colindantes están un poco más adheridos a los demás, pero no lo bastante para detenerte, a menos que intentes entrar demasiado rápido, como cuando te tiras al mar grisáceo desde un acantilado. En los sólidos, los átomos no se apartan a menos que los hagas moverse a la fuerza. Piensa en unas tijeras que cortan un papel.

Así, en lugar de luchar por su posición, un electrón puede verse forzado a apartarse y dejar libre su espacio para que lo llene otro electrón. Cuando un átomo pierde un electrón (tras ser golpeado por un poderoso fotón de luz solar, por ejemplo), las cargas combinadas del núcleo y el electrón (o electrones) ya no suman cero. Los átomos a los que se extirpa uno o varios electrones se convierten en lo que los científicos llaman *iones*.^[34] Los iones tienden a buscar algo a lo que adherirse para formar una molécula. De hecho, van desesperados en busca de electrones. En terminología física, son altamente *reactivos*.

Sin embargo, los lazos creados por los electrones en el interior de una molécula también pueden romperse. Durante el proceso, suele liberarse la energía resultante, motivo por el cual es tan conveniente ingerir alimentos. Las reacciones químicas que se producen dentro de tu cuerpo rompen las moléculas de la comida y liberan la energía que después tu organismo utiliza de diversas formas para mantenerte vivo.

De acuerdo.

Con esto ponemos punto final a nuestro estudio del diminuto mundo de los electrones. Solo has echado un vistazo a la parte externa de tres átomos y, sin embargo, ya te has hecho una idea de cómo entiende la ciencia moderna casi todo lo que nuestros cuerpos experimentan a diario. Por lo tanto, antes de dirigirnos al todavía misterioso núcleo atómico, voy a resumirte lo que has visto en estos dos últimos capítulos.

Las partes más externas de todos los átomos del universo están formadas por cargas eléctricas en forma de grandes ondas expandidas denominadas *electrones*. Son partículas elementales del campo electromagnético y son muy celosas de su espacio personal. El principio de exclusión de Pauli prohíbe que dos electrones ocupen el mismo espacio al mismo tiempo. En todos los átomos del universo hay más vacío que cualquier otra cosa, pero esa es justamente la razón por la que no puedes atravesar una pared, una silla, una cama o cualquier otra cosa sólida que se precie. De lo contrario, la vida sería bastante complicada.

La regla de Pauli también da lugar a las diferencias estructurales y químicas entre los distintos átomos: puesto que los electrones no pueden congregarse lo más cerca posible del núcleo, se disponen a modo de cebolla en una serie de capas alrededor del mismo, ocupando solamente los espacios disponibles. Así, a mayor número de electrones, mayor será el átomo.

Valga decir que los electrones no son las únicas partículas sujetas al principio de exclusión de Pauli. También lo están otras partículas, aunque no todas. La luz, por ejemplo, tiene a bien diferir. Puedes apilar tantos fotones como desees en un espacio tan reducido como quieras. A ellos les da igual. De hecho, hasta les gusta y, cuanto más similares son dos fotones, más tendencia muestran a acurrucarse el uno contra el otro como dos pingüinos frioleros. Los rayos láser son una consecuencia de esta tendencia, ya que son haces de fotones idénticos altamente concentrados y cargados de energía.

A estas alturas, puede que te hayas quedado con la impresión de que los electrones y la luz son las únicas partículas que cuentan en nuestro universo, pero eso no es cierto. Pronto verás que, en el interior de los núcleos atómicos, hay más partículas, pero quiero recalcar que, a nuestro alrededor, también hay otras a las que no les importa lo más mínimo ni el deseo de los electrones de conservar su intimidad ni tampoco su sola existencia. Ni nada de lo que conocemos, para el caso. Estas partículas no pertenecen a los átomos. Algunas son tan esquivas que la mayor parte del tiempo lo están atravesando todo sin dejar prácticamente rastro de su paso. A estas diminutas partículas, el

universo puede parecerles opaco y vacío. Incluso la Tierra. Incluso tú. Pronto las conocerás.

Por el momento, deberías estar de enhorabuena de nuevo. Con lo que has aprendido sobre los electrones y la luz, ya sabes lo que solo un puñado de gente conocía hace cincuenta años, y huelga decir que la mayoría de ellos eran personas bastante brillantes, porque les dieron el premio Nobel por sus descubrimientos.

Pero no solo eso.

Gracias a ellos, ahora puedes explicar casi todo lo que ocurre a tu alrededor, desde el color de un tomate y la solidez de un muro o del suelo a la razón por la que los imanes te saltan de los dedos para engancharse a las puertas de los frigoríficos.

Todo lo que tú, yo y todos nuestros amigos experimentamos a diario se rige por el juego de transformación entre la materia y la luz, y por el rechazo categórico de los electrones a compartir su pedacito de espacio-tiempo con una copia exacta de sí mismos.

La próxima vez que abrases a alguien, déjate llevar e imagínate las perlas virtuales de luz que se crean y enloquecen a medida que os vais acercando, justo antes de que los electrones obedezcan la regla de Pauli y decidan que ya no podéis acercaros más. No estoy seguro de que sea buena idea comentar este asombroso hecho en una primera cita, pero lo dejo a tu elección.

Antes de continuar con tu viaje por la materia que conocemos, he aquí otra noticia interesante: en 2014, los experimentos realizados en los impresionantes laboratorios científicos subterráneos que la Organización Europea de Investigación Nuclear (CERN) tiene bajo la frontera franco-suiza confirmaron que la humanidad había descubierto teóricamente todo lo que había por descubrir sobre la materia de la que estamos hechos.

Todo.

Eso no significa que no quede ningún misterio por resolver (descubrirás muchos de ellos en la sexta parte), pero sí que, desde 2014, tenemos un retrato general del contenido conocido de nuestro universo que contempla principalmente todo lo que hemos podido probar o hallar gracias a la tecnología moderna.

Dicho retrato incluye los núcleos atómicos que estás a punto de examinar.

Y si por casualidad tienes el palpito de que vas a volver a encontrarte con cosas raras, estás en lo cierto.

5

Una cárcel peculiar

Se te está enfriando el café y el brazo que sostiene la leche ya empieza a dolerte, pero no te importa.

Tu mini tú acaba de decidir que va a seguir sumergiéndose en uno de los átomos de hidrógeno que han formado la molécula de agua delante de tus ojos hasta llegar al núcleo. A tu alrededor, aparecen y desaparecen un montón de perlas evanescentes de luz (los fotones virtuales que viste entre el imán y la nevera), lo que confirma que el núcleo hacia el que te diriges está eléctricamente cargado y echa por tierra la idea de que solo existe vacío entre los electrones y el núcleo atómico.

Aun así, en comparación con el tamaño que pensabas que tendría el átomo, atravesas una distancia inmensa antes de llegar al núcleo del hidrógeno.

Y, al final, lo encuentras.

Como el electrón que da vueltas a su alrededor, el núcleo del átomo de hidrógeno no parece tener una forma concreta, pero sí tiene masa y pesa más, mucho más que el electrón: 1836 veces más. Además, tiene una carga que, de hecho, es exactamente igual, pero opuesta, a la del electrón.

Se llama *protón*.

Es mayor que el electrón, pero, en comparación con el tamaño del átomo completo (el volumen que cubre el electrón), es extraordinariamente minúsculo. Ernest Rutherford, un físico británico de origen neozelandés, descubrió su existencia en 1911, tres años después de que le concedieran el premio Nobel de química por su trabajo sobre lo que por entonces era un novedoso fenómeno denominado *radiactividad*. Sin embargo, lo que él no sabía, lo que no *podía* saber, es que, a diferencia del electrón, el protón no es una partícula elemental, sino que encierra todo un mundo en su interior.

Sin perder el tiempo intentando lo imposible, cierras los ojos y abres los brazos para *sentir*, al estilo yogui, cómo es ese mundo interior del protón.

Inmediatamente, te sientes abrumado por una fuerza tan intensa que todo lo que has vivido hasta ahora te parece un juego de niños y abres los ojos de golpe.

El electromagnetismo puede subyugarte muy fácilmente: algunos imanes están tan fuertemente adheridos entre sí que jamás serías capaz de separarlos.

La gravitación también puede dominarte y, de hecho, lo hace: nunca podrás librarte de la gravedad de la Tierra, pero eso ya es harina de otro costal.

En el interior del protón, en lo que parecía una esfera borrosa y neblinosa, avistas incontables partículas virtuales que aparecen y desaparecen, como las perlas electromagnéticas de luz que has visto entre el imán y el frigorífico, o entre el electrón y el protón. Sin embargo, no son fotones virtuales. Son las portadoras de una nueva fuerza y esta, junto con el campo cuántico al que pertenece, es la que estabiliza toda la materia del universo.

Sin ella, todo lo que conocemos desaparecería con un chasquido de dedos. Todo. Tu cuerpo incluido.

Las partículas virtuales que transportan esta increíble fuerza que mantiene la materia inalterada son cientos de veces más potentes que los fotones que transportan la fuerza electromagnética. Son las portadoras de fuerza de las llamadas *interacciones fuertes*.

Pero, si son *solo* las portadoras de fuerza, ¿por qué no ves las partículas elementales de este nuevo campo? Los fotones virtuales provocaban la interacción de las partículas cargadas, entonces ¿qué interactúa aquí?

Sin pensártelo dos veces, saltas al interior del protón, vuelves a cerrar los mini ojos, levantas las mini manos y empiezas a investigar..., sentir..., buscar la finalidad de las portadoras de esta fuerza tan intensa. Al estar rodeado de tanta energía, te cuesta un gran esfuerzo concentrarte, pero, al final, lo consigues. Puedes vislumbrar tres cosas, tres cositas pesadas, ondeantes y borrosas que los científicos denominan *quarks*. Puede que el nombre te suene raro, pero ¿acaso no son raros todos los nombres hasta que te acostumbras a ellos?

En realidad, nadie, aparte de ti ahora mismo, ha llegado a ver un quark aislado. De hecho, no existen por sí solos. Las potentes cositas virtuales que aparecen y desaparecen continuamente a su alrededor no se lo permitirían. Cuanto más lejos están unos quarks de otros, más violentas se vuelven las

portadoras de la fuerza fuerte para volver a juntarlos con mayor eficiencia que ninguna otra fuerza conocida de la naturaleza.

Así pues, para los tres quarks que habitan en el interior del protón, la vida es más bien un confinamiento. Como una prisión, en realidad.

¿Son, entonces, las portadoras de la fuerza fuerte sus carceleras? ¿Quiénes son en realidad? ¿Qué son? Fotones, no, eso seguro. Recuerda que no forman parte del campo electromagnético: son expresiones de otro campo completamente distinto, el *campo cuántico de la interacción fuerte*.

Y son tan eficientes en su trabajo de aglutinamiento de quarks que han recibido el nombre de *gluones*.

Quarks y gluones.

Ellos son los que forman todos los protones del universo.

Pero hay algo raro en estas más que minúsculas cárceles que tu mini tú está visitando. La mayoría de nosotros creemos que, cuando te encuentras entre rejas, como una persona, la libertad significa estar lo más lejos posible de la celda y los carceleros. Pues bien, para los quarks encarcelados en el interior de los protones, malhechores o no, significa todo lo contrario. Para ellos, la libertad reside en las distancias cortas. Cuanto más cerca se encuentran los unos de los otros, más libres son de hacer lo que les venga en gana. Francamente, el concepto de libertad de los quarks es algo muy extraño, y es que se les abre todo un mundo de posibilidades cuanto más pegados están.

Tres científicos estadounidenses, David Gross, Frank Wilczek y David Politzer, recibieron el premio Nobel de física de 2004 por haber descubierto esta peculiar forma de libertad. Un concepto complicado, tanto que recuerdo que, cuando conocí en Cambridge a David Gross y a Frank Wilczek un par de años antes de que les dieran el Nobel, estuve tentado de pedirles que me reembolsaran lo que me había gastado en pastillas para el dolor de cabeza que me había provocado intentar comprender su trabajo.

Quarks y gluones.

Quarks elementales, compuestos simplemente de sí mismos.

Y gluones.

Los portadores de la fuerza más intensa que se conoce, la *fuerza nuclear fuerte*, que mantiene confinados a los quarks y solo les permite ser libres cuando están bien cerquita entre sí para garantizar que la materia de la que estamos hechos no se separe.

Quarks y gluones.

Unos nombres bien raros para describir la esencia de una realidad tan alejada de nuestra vida cotidiana que puede sonarnos a chino. Sin embargo, la fuerza fuerte, con sus quarks y gluones, representa cerca del 99,97 por ciento de la masa que conforma nuestros cuerpos. Si una persona que pesa 60 kilos perdiera todos sus quarks con sus correspondientes gluones carceleros ahora mismo, adelgazaría al instante hasta pesar tan solo 18 gramos. Y, claro está, moriría.

Para comprender lo que la humanidad ha descubierto hasta ahora sobre nuestra realidad y dilucidar incluso de qué está hecha esta, los quarks y los gluones son, por tanto, muy necesarios. Por eso me parece que tenemos una muy buena razón para estudiarlos, por no mencionar el hecho de que pronto nos permitirán viajar de nuevo a poco más de un segundo después del nacimiento del espacio y el tiempo.

Así pues, como ya hemos dicho, el campo al que pertenecen estos nuevos individuos se llama campo de interacción fuerte o campo fuerte. Por supuesto, se trata de un campo cuántico, así que también se aplican aquí la mayor parte de los raros comportamientos cuánticos que hemos descubierto antes en relación con los electrones y la luz: por ejemplo, crear túneles y desaparecer y volver a aparecer al azar en otra parte. Ahora bien, lo más importante es subrayar que el campo fuerte *no* es lo mismo que el campo electromagnético y, sin embargo, también llena el universo entero. Es otro mar, si quieres, cuyas gotas, en lugar de ser electrones y fotones, son quarks y gluones. Y nada prohíbe a las partículas pertenecer a ambos campos. Como están cargados eléctricamente, los quarks pertenecen tanto al campo de interacción fuerte como al electromagnético. Pueden interactuar con los portadores de fuerza de ambos campos: la luz y los gluones, aunque, en las distancias cortas, los gluones son muchísimo más poderosos que la luz.

¿Qué pasa entonces con este nuevo mar? ¿Cuáles son sus partículas elementales?

El campo fuerte tiene seis: seis quarks diferentes que pueden surgir de repente del campo fuerte, en cualquier momento y en cualquier parte, siempre que haya la energía suficiente. Sin embargo, solo dos tipos se encuentran en el núcleo atómico y son los quarks conocidos como *arriba* y *abajo*. En cada protón del universo hay dos quarks arriba y uno abajo, así que se puede decir que los protones son más de arriba que de abajo, algo que tal vez pueda explicar por qué están tan felices en su cárcel subatómica.

Pero, tal como verás ahora en tu átomo de oro, los protones no son las únicas cárceles de quarks que existen.

Aburrido ya del hidrógeno, tu mini tú regresa de un salto a la mesa de la cocina sobre la que cortaste en pedacitos tu tesoro.

Tu átomo de oro sigue ahí, así que te sumerges en él.

Enterrado bajo los setenta y nueve electrones que lo rodean, hay un núcleo muchísimo más grande que el del átomo de hidrógeno. Te encuentras con 79 protones que contrarrestan la carga de los 79 electrones, pero también ves otras esferas borrosas que envuelven, o tal vez separan, esos protones. Son esferas sin carga. Cuentas 118.

Puesto que son eléctricamente neutras, a esas esferas se las denomina *neutrones*. También son cárceles de quarks y fueron descubiertas por el físico inglés sir James Chadwick, que, casualmente, fue auxiliar del extraordinario Rutherford.^[35] Chadwick recibió el premio Nobel en 1935 por su descubrimiento.

En el interior de cada protón, los gluones se encargan de confinar a dos quarks arriba y uno abajo. La mayoría siempre arriba. En el interior de los neutrones, ocurre a la inversa: hay dos abajo y uno arriba.

Ahora bien, ¿cómo se mantienen unidas estas cárceles para formar un núcleo atómico? ¿Por qué no se separan? ¿Por qué no se desmoronan? Al fin y al cabo, todos los protones tienen carga positiva y deberían repelerse, pero no lo hacen.

¿Por qué? Porque el campo fuerte y sus portadores de fuerza lo evitan, aunque de un modo muy extraño. De una forma residual.

Para descifrar qué significa esto, tu mini tú se empecina en observar de cerca a los esquivos gluones que vigilan a los quarks del interior del protón. Ahí están. En realidad no puedes verlos, pero puedes sentirlos al estilo yogui. Aparecen y desaparecen para mantener a los quarks a raya y que no se desperdigen.

Pero, de repente, ocurre algo raro.

Algo se ha ido. Algo ha saltado fuera del protón. Pero ¿qué era? ¿Un gluón? ¿Por qué no? Al fin y al cabo, son los guardianes, no los prisioneros.

Pues no, no era un gluón.

O al menos, no uno solo.

Agudizas tu sentido yogui y... allá vas.

Da la casualidad que los gluones no se van solos. Tienen que buscar otro gluón. Un amigo. Al emparejarse con el gluón correcto, se convierten en otra cosa...

Miras a tu alrededor y justo ahí, a tu izquierda, entre dos quarks, ves que vuelve a suceder.

Salta un gluón del fondo del campo y un amigo suyo, otro gluón, hace lo mismo. Ahora están pegados. ¡Pop! Al igual que la luz puede transformarse en un electrón, estos dos gluones se han transformado en dos quarks. ¡Un dueto de quarks que ya no está atado al resto por ningún gluón! Se convierten en nuevas entidades libres para abandonar la cárcel de quarks a la que pertenecían.

Los ves marcharse.

Van directos hacia una cárcel de quarks cercana. De hecho, se han convertido en portadores de otra fuerza, una que no actúa sobre los quarks, sino sobre sus cárceles. Cuando se acercan a una de ellas, vuelven a transformarse en gluones y empiezan a custodiar a los quarks que ya estaban ahí dentro...

Gracias a estos intercambios es posible que los neutrones y los protones coexistan en los núcleos atómicos. Mediante estos viajes de una cárcel a otra, los gluones que se transforman en quarks se aseguran de que los núcleos atómicos permanezcan estables. La partícula transformada, compuesta por el dueto de quarks que viaja entre las cárceles, se llama *mesón*, y la fuerza que transporta se denomina *fuerza nuclear fuerte*. Se trata de una fuerza de atracción. Una muy fuerte.

El físico teórico japonés Hideki Yukawa recibió el premio Nobel de física de 1949 por predecir la existencia de los mesones mucho antes de que se hallaran en los experimentos.

Un gran enredo es esta sopa hirviente de quarks y gluones que se puede encontrar en todos los protones y neutrones, y resulta que también es la responsable de la pérdida de masa que mencionamos más atrás, la que hace que las estrellas brillen.^[36]

Como ahora bien sabes, en el interior de las estrellas se fusionan los átomos para crear otros nuevos y más grandes. Esto significa que las estrellas fusionan neutrones y protones a la vez y resulta que, una vez fusionados, ambos ya no necesitan tantos gluones virtuales que custodien sus quarks (o mesones que custodien sus cárceles) como cuando estaban solos. Es un poco como cuando se fusionan dos empresas: se repiten algunos puestos de trabajo y se echa a algunos empleados... En los núcleos de las estrellas, a los

gluones, quarks y mesones redundantes también se les echa. Puesto que son portadores de energía y esta es masa, echarlos reduce la masa del nuevo núcleo fusionado. Por este motivo, todos los núcleos formados por fusión son menos pesados que los núcleos fusionados por separado. Sin embargo, a diferencia de las personas que son despedidas, esta masa perdida se convierte en energía en una proporción correspondiente a $E=mc^2$, con lo que se consigue que las estrellas brillen.

En lo más profundo de las estrellas, la energía gravitacional se emplea para forjar átomos, un proceso que también implica que la masa se transforme en luz y calor, así como en otras partículas que están ahí pero que nuestros ojos no pueden ver. A pesar de que la mayor parte de nuestra realidad queda oculta a nuestros sentidos, en este, nuestro universo, todo está conectado.

6

La última fuerza

Hasta el momento, has tomado conciencia de la existencia de dos campos cuánticos, concretamente, uno responsable de todas las interacciones electromagnéticas y uno que da lugar a la fuerza más intensa conocida por la humanidad, la muy acertadamente denominada *interacción fuerte*, con su fuerza nuclear fuerte como fuerza residual.

De alguna manera, estas fuerzas y sus campos son potencias de construcción. Aunque los imanes solo puedan atraerse o repelerse entre sí, la fuerza electromagnética sirve para asegurar que los electrones se mantengan alrededor de los núcleos. Los electrones podrían alejarse de los núcleos o caerles encima, pero no lo hacen. Las perlas virtuales de luz lo evitan. El campo electromagnético confiere a los átomos su estabilidad electrónica y la posibilidad de compartir sus cargas para construir moléculas y la materia de la que estamos hechos.

La fuerza nuclear fuerte, por otra parte, se encarga de cuidar de los núcleos atómicos. Mantiene unidos a los neutrones y los protones que forman el núcleo. Sin ella, todos los núcleos se dividirían y nos convertiríamos instantáneamente en una niebla de protones y neutrones, al igual que la Tierra y todo lo demás.

Y para acabar de dejarlo todo bien atado, la interacción fuerte mantiene a los quarks confinados en el interior de esos protones y neutrones, amarrándolos con gluones que surgen de un segundo plano.

Así pues, has viajado al interior de estos dos campos, has visto que sus partículas interactúan y que los portadores de fuerza, a pesar de ser esquivos e intangibles, dan al mundo su consistencia. Has visto cómo juegan entre ellos los fotones y los electrones, y cómo se transforman los unos en los otros. Has visto cómo los gluones y los quarks serpentean en el interior de los núcleos de

los preciosos átomos de oro y también dentro de los más comunes átomos de hidrógeno, que son las unidades más pequeñas y abundantes de materia del universo, los que se fusionan en el corazón de las estrellas para forjar la sustancia de la que tú y yo estamos hechos.

El hidrógeno, cuya extinción conlleva tarde o temprano la muerte de todas las estrellas del universo.

Mientras sopesas esta última afirmación, recuerdas de repente lo que le sucederá a nuestro Sol dentro de 5000 millones de años y recobras de inmediato tu tamaño normal, dejando a tu mini tú flotando en alguna parte, en un mundo demasiado pequeño para tus ojos.

Tu percepción del universo ha cambiado enormemente desde el momento en que observabas perezosamente las estrellas en la playa de la isla tropical. Ahora sabes que nada está vacío, que todo interactúa con todo y que hasta las partes más internas de los átomos se componen de extraordinarias interacciones remotas, gracias a las cuales se mantienen unidos.



El cielo que se ve desde la ventana de tu cocina está tomando un tinte rojizo. El Sol se está poniendo por el oeste e ilumina la base plana de las nubes con intensos colores.

Te duele el brazo del tiempo que lleva sosteniendo la leche pero, mientras das un sorbo al café con leche (frío), te acercas distraídamente a la ventana, miras el cielo de fuera y, de repente, comprendes mejor lo que significa formar parte de la familia de una estrella.

Todas las estrellas del universo irradian e inundan su entorno de luz y partículas, producto directo o indirecto en su conjunto de la fusión de los núcleos atómicos en la planta generadora de energía de su núcleo. Y mientras la gravedad, o lo que es lo mismo, la curva que crean en el espacio-tiempo, hace que todos y cada uno de los objetos que se acercan caigan hacia ellas, estos vientos de partículas y luz soplan hacia fuera, hacia el espacio, hacia lo lejos, irradiando ondas de campos secundarios invisibles que lo llenan todo.

Realmente, el universo es como un vasto océano y resulta que algunos ingenieros espaciales (muy serios) se han imaginado construyendo naves espaciales con velas enormes capaces de capturar estos vientos solares para

propulsarse hacia el universo exterior, como marineros cósmicos que surcan las olas del espacio-tiempo sin necesidad de combustible.

Ya es noche cerrada y tú no te has movido del sitio. El cielo se ha despejado y estás mirando las estrellas, pero no ves muchas. Hay demasiada contaminación lumínica. Aun así, ahora sabes que las estrellas que observas desde aquí no son las mismas que veías desde tu isla tropical. Ahora estás recibiendo fotones emitidos por estrellas que residen en una parte diferente de la Vía Láctea. Pero, claro, siguen siendo estrellas, bolas enormes cuya energía gravitacional está creando átomos más grandes a partir de otros más pequeños, fusionando sus núcleos.

Es digno de mencionar que, al contrario de lo que estamos acostumbrados a ver, allí fuera todo parece ser una fuerza de construcción.

Parece, sí, porque todavía no has visto todo lo que se conoce.

Para eso, vas a necesitar al tercer campo cuántico.

Un tercer mar que llena el universo entero, al igual que los otros dos, un mar cuyos portadores de fuerza elemental no son ni fotones ni gluones ni mesones.

Y este, de algún modo, podría interpretarse como un campo de destrucción, el cual deshace lo que los demás construyen. Se trata de la última de las cuatro fuerzas que rigen nuestro universo.

Esta última fuerza es también nuclear y, como la fuerza fuerte que acabas de descubrir, solo actúa sobre los componentes de los núcleos atómicos. Sin embargo, es mucho más débil que la fuerza fuerte y, por ello, se la denomina *fuerza nuclear débil*. El campo cuántico ubicuo a partir del cual se generan sus partículas elementales y sus portadores de fuerza se llama *campo nuclear débil*. Uno de sus atributos es la separación espontánea de los núcleos atómicos, un proceso conocido como *radiactividad*.

Ahora bien, antes de que presencias la radiactividad en acción, tal vez valga la pena recordarte que esta se ha cobrado la vida de muchos de sus descubridores. Ajenos al hecho de que las luces letales invisibles que lentamente sacudían sus cuerpos estaban irradiándoles, procesaron materias primas altamente radiactivas con las manos desnudas, sin ninguna protección. La asombrosa científica francesa de origen polaco Marie Curie, la única persona que ha recibido el premio Nobel de física (en 1903, por el

codescubrimiento de la radiactividad) y el de química (en 1911, por descubrir dos nuevos átomos: el radio y el polonio), fue una de esas víctimas. Tal vez ella no supiera por qué murió, pero tú estás a punto de presenciar lo que ella habría visto de haber contado con los conocimientos actuales, junto con la práctica habilidad de convertirse en una mini Marie.

Mientras vacías el café frío en el fregadero, tu mente vuelve a encogerse en tu mini tú y tus mini ojos tardan un instante en adaptarse a la oscuridad.

Vuelves a estar cerca de tu átomo de oro.

Lo tienes justo delante, un átomo tan fuerte y sólido que se necesita una energía aún mayor que la gravedad de una estrella para forjarlo. El oro no se crea durante la vida de una estrella, sino durante la explosión en la que muere. Cuando nuestro Sol muera, también creará algo de oro, que quién sabe si algún día acabará en el dedo —o el tentáculo— de alguna futura especie alienígena.

Sin embargo, ahora que lo miras, este átomo de oro no parece tan valioso como casi toda la humanidad parece creer.

Entonces, ¿por qué es tan codiciado?

¿Acaso muta con el paso del tiempo? ¿Acaso captura átomos que pasan por su lado para crear moléculas extraordinarias?

Esperas un momento, a ver si es eso.

Pues no.

No pasa nada.

Y ahora viene lo bueno.

Una de las razones de que el oro sea tan valioso es precisamente el hecho de que nunca le pasa nada. El oro no se deteriora. No se oxida (que es lo que ocurre cuando se adhieren algunos electrones de un átomo de oxígeno). No se corroe. Y si reúnes un buen montoncito, puedes apreciar que es el metal más dúctil de todos: puedes estirarlo hasta convertirlo en el cable más largo y fino de todos (el platino y la plata no tardarían en romperse). Si juntas varios átomos de oro, también podrás moldearlo fácilmente para darle la forma que quieras y, le hagas lo que le hagas, seguirá conduciendo la electricidad, lo que significa que, si introduces un electrón por una punta de una larga cadena de átomos de oro, la recorrerá entera ondeando y saldrá por el otro extremo.

Todas estas propiedades excepcionales pueden resultar en aplicaciones prácticas que no siempre serán tan deslumbrantes como un anillo de boda, pero sí de un valor incalculable.

A esto, añádele el hecho de que el oro es escaso, difícil de extraer y producto de la muerte de una estrella, y entenderás por qué es tan caro. Sin embargo, vamos a dejarlo ahí, porque, en realidad, no está pasando nada de nada.

Para ver algo diferente, necesitas otro átomo y, casualmente, pasa uno por ahí.

Y es más grande.

Por lo que puedes apreciar, tiene 94 electrones dando vueltas alrededor de un núcleo de 94 protones y 145 neutrones. 239 cárceles de quarks, es decir, 42 más que el oro.

Este átomo es una forma del tristemente célebre elemento llamado *plutonio*, que por sus 239 cárceles de quarks, se conoce como plutonio-239. Hay otros tipos de plutonio, del mismo modo que hay otros tipos de oro,^[37] además del que has encontrado en tu cocina. Estos átomos pueden tener más o menos neutrones en sus núcleos, pero lo que siempre tienen es el mismo número exacto de protones, o ya no serían de plutonio... o de oro.

Aunque la observación del oro no ha sido demasiado interesante, algo te dice que está a punto de producirse, de manera espontánea, un fenómeno extraño en el interior del núcleo del plutonio-239.

Sin dudarlo, atraviesas capa tras capa de electrones, cruzas el enorme vacío repleto de fotones virtuales y llegas al núcleo. Tienes las 239 cárceles de quarks justo delante. La fuerza nuclear fuerte las mantiene bien agrupadas, pero tu instinto te dice que te fijes en uno de los neutrones.

Te metes dentro.

Ahí dentro hay dos quarks abajo y uno arriba, bien sujetos por fornidos gluones.

Sin embargo, justo cuando empiezas a ponerte cómodo, uno de los quarks abajo recibe el impacto de una partícula virtual que no habías visto hasta ahora, la cual ha aparecido espontáneamente y ha transformado el quark abajo en un quark arriba. En consecuencia, el neutrón al que pertenecía se ha transformado en un protón y ha provocado el caos. Ahora, el núcleo atómico entero ha perdido el equilibrio, y el efecto es instantáneo y dramático.

Tu sexto sentido te anima a salir corriendo para ponerte a cubierto, y tu mini yo sale velozmente del núcleo y atraviesa las capas de electrones justo a tiempo para ver como el núcleo del plutonio se divide y se vuelve a dividir una y otra vez en núcleos menores que tratan —a veces sin éxito— de

llevarse algunos electrones consigo. En cada paso del proceso, salen despedidas unas partículas con una carga energética altísima y vuelves a observar otra cosa que no habías visto hasta ahora. El plutonio se está desintegrando justo delante de ti y está proyectando hacia el exterior el producto de esta desintegración. Unos fuegos artificiales que se acaban consumiendo, a menos que hubiera otros átomos de plutonio-239 cerca, lo que no es el caso de tu cocina. Así pues, pronto llega la calma.

Acabas de presenciar uno de los aspectos característicos de la cuarta fuerza conocida de la naturaleza: los portadores virtuales de la fuerza nuclear débil pueden transformar un tipo de quark en otro. Estos portadores de fuerza se denominan *bosones W y Z*.

Lo que acabas de ver es la desintegración de un átomo en otros más pequeños y estables. Has presenciado la fisión espontánea de un núcleo atómico, justo lo contrario a la fusión. Una *desintegración radiactiva*. De eso va la *radiactividad*, y a su cargo está la fuerza nuclear débil, transportada por sus bosones W y Z.

Wolfgang Pauli —el mismo Pauli que formuló el principio de exclusión— estudió esta desintegración atómica hace cerca de un siglo. Como sabes, no conocía la existencia de los campos pero, al comparar las observaciones previas y posteriores a una desintegración radiactiva, se dio cuenta de que se perdía energía. Por eso pronosticó la existencia de una partícula hasta el momento desconocida a la que se podía culpar de llevarse esa energía, una partícula con una masa ínfima que no transportaba ningún tipo de carga eléctrica, una partícula tan escurridiza que, una vez lanzada, puede atravesar toda la materia conocida sin hallar prácticamente obstáculos.

Ahora se sabe que esta nueva partícula existe. La acabas de ver. De todas las partículas despedidas por la desintegración radiactiva, es la que no habías visto hasta ahora y se denomina *neutrino*.

El físico estadounidense Frederick Reines y sus colegas la detectaron en sus experimentos de 1956, y Reines recibió el premio Nobel de química por ello en 1995, casi cuarenta años después. Tal como él dijo una vez, los neutrinos son la cantidad más diminuta de realidad que pueda imaginar el ser humano. Hoy en día, sabemos que estos neutrinos (hay muchos) solo responden ante el campo nuclear débil y la gravedad, y son completamente inmunes a los campos electromagnético y fuerte.

Gracias a ellos, los átomos son lo que te parecieron al principio: vacío.

Y eso es bueno.

¿Por qué?

Porque si los neutrinos interactuaran con los átomos, tendríamos un problema, porque el Sol los produce en abundancia.

En gran abundancia, de hecho.

Alrededor de 60 000 millones de neutrinos atraviesan un centímetro cuadrado de tu piel.

Cada segundo.

Y ni siquiera se percatan de tu presencia. Ni uno solo de ellos.

Por insultante que parezca, no son capaces de distinguir entre tú y, pongamos por caso, nada. Te atraviesan a ti y la Tierra,^[38] y siguen su viaje por el espacio, como si ni tú ni el planeta hubierais estado ahí.



Nos han enseñado que la radiactividad es peligrosa y que, a ser posible, deberíamos rehuir los materiales radiactivos como el plutonio, el uranio, el radio o el polonio... Y con razón. Sin embargo, los neutrinos, que no distinguen entre tu persona y la nada no pueden ser los responsables de ese peligro.

La razón reside en las demás partículas que salen despedidas durante la desintegración radiactiva y, por suerte, ya estás familiarizado con ellas.

Cuando se desintegra el núcleo de un átomo, se divide y puede desprender neutrinos, cárceles de quarks, electrones y luz, y los tres últimos son peligrosos.

Los grupos más grandes están formados por cuatro cárceles de quarks unidas: dos neutrones y dos protones adheridos que forman un nódulo llamado *partícula alfa*, el cual, en realidad, corresponde a un átomo de helio desprovisto de sus electrones. Para convertirse en un átomo, ese núcleo necesita robar dos electrones de alguna parte, un hito que puede conseguir de diversos modos. Puede arrancarlos de algún átomo cercano (grosero), compartírselos con algún átomo cercano (altruista) o adoptarlos (buen samaritano).

En el primer caso, el átomo al que se le quitan los electrones comienza también a buscar otros electrones. Cuando hay seres vivos cerca (como nosotros, como tú en tu cocina), les pueden robar electrones de la piel y pueden producirse reacciones químicas extrañas que provocan lo que se

conoce como *quemaduras radiactivas*. Por eso son tan peligrosas las partículas alfa.

La segunda clase de partículas que pueden salir despedidas de una desintegración radiactiva es un electrón altamente energético, que puede golpear a otros electrones y mandarlos bien lejos (lo que deriva en el mismo tipo de peligro). La tercera clase es un fotón altamente energético, un *rayo gamma*, como el que nos encontramos en nuestro anterior viaje por el cosmos y del que destacamos su increíblemente alta e intensa frecuencia.

Con solo tocar un átomo, el rayo gamma puede arrancarle un electrón y convertir el átomo en un ion ansioso por encontrar otro electrón, cosa que, de nuevo, puede provocar quemaduras en la piel.

Pero los rayos gamma pueden ser mucho peores.

Nada les obliga a detenerse en la superficie de tu cuerpo. Pueden penetrar en ti y provocar el caos interno, y no solo echando electrones de su hogar atómico, sino rompiendo también moléculas, como las del ADN, en el corazón de nuestras células, hecho que produciría modificaciones en las instrucciones que nuestro organismo emplea para crear todo lo que nuestro cuerpo necesita para vivir. Los resultados suelen ser el cáncer y/o las mutaciones genéticas.

Todos estos posibles resultados son espantosos. Eso es innegable. Sin embargo, también hay una parte buena en todo esto: del mismo modo que la gravedad, el electromagnetismo y la interacción fuerte, la radiactividad, a pesar de ser una fuerza de destrucción, es un proceso natural que se da en todo momento, en todas partes, incluso en el interior de tu cuerpo a ritmo muy lento. Solo deberías preocuparte si te expones a altos niveles de radiación.

De hecho, deberíamos estar todos muy agradecidos por la existencia de la radiactividad. Sí, puede matarte pero, para empezar, sin ella, ni siquiera hubieras nacido. Resulta que la Tierra, a muchos metros bajo tus pies, contiene muchos átomos que se desintegran continuamente. Por eso, aunque ahora menos que antes, el manto de la Tierra es radiactivo. Cuando los átomos se desintegran en él, las partículas que despiden chocan contra los átomos vecinos y generan calor, el mismo que contribuye a mantener el planeta caliente. Sin la radiactividad, no existiría la actividad sísmica o volcánica. La superficie de la Tierra llevaría miles de millones de años helada y, probablemente, la vida tal como la conocemos no existiría.

La radiactividad rompe los átomos. La radiactividad mata. Pero es necesaria para calentar nuestro mundo y devolvernos parte de la energía que las estrellas enterraron en los átomos que crearon nuestro planeta.

Dicho esto, un último comentario antes de dejar que te embarques en un viaje hacia los orígenes del espacio y el tiempo: la energía atómica en su conjunto, a través de la fisión o la fusión de núcleos atómicos, implica energías extremas, que son precisamente las que la humanidad trata de aprovechar, con mayor o menor eficiencia, con las centrales de energía nuclear. Lo único que podemos esperar es que estas tecnologías lleguen a ser un día limpias y seguras, porque su potencial es alucinante.

A pesar de su mala prensa y el injustificable uso que se hizo de ellas en el pasado, no debemos olvidar que, sin las energías nucleares, no existiríamos. Sin la radiactividad, la vida en la Tierra sería imposible.

La vida tal y como la conocemos, claro.

Quinta parte
Hasta el origen del espacio y el tiempo

1

Tener confianza

A los veintidós años, empecé a interesarme por lo que algunos podrían denominar la física teórica *hardcore*. Llevaba unos años estudiando matemáticas puras y me había cautivado su belleza. Como dijo el filósofo griego Platón —hará unos veinticinco siglos, cuando nadie tenía ni idea de lo que ocurría en los cielos—, las matemáticas son el lenguaje que emplean los dioses para hablar con las personas.

Cuando aceptaron mi solicitud para estudiar matemáticas avanzadas y física teórica en la Universidad de Cambridge, en Inglaterra, pensé de inmediato: ¡genial! ¡Ha llegado el momento de reflexionar en profundidad sobre el mundo real!

No podía ni imaginar lo que estaba a punto de pasarme, del mismo modo que, probablemente, tú tampoco tienes ni idea de lo que está a punto de pasarte en los próximos capítulos.

Aproveché el verano previo a mi primer curso en Cambridge para leer algunos libros de texto y las obras de algunos maestros antiguos y contemporáneos y, así, entender con mayor claridad lo que la ciencia tiene que decirnos sobre el mundo que nos rodea. Me centré especialmente en el mundo cuántico, ya que, al fin y al cabo, tal y como descubrimos en la cuarta parte, la raíz de todo lo que somos se encuentra en el mundo de lo muy pequeño. Ahí es donde encontramos los ladrillos con los que se construye todo lo que contiene nuestro universo, y es preciso comprender ese contenido incluso para poder aplicar la teoría general de la relatividad de Einstein, pues, de otro modo, sus ecuaciones no podrán decirnos cómo es nuestro universo a una escala mayor.

Muchos premios Nobel de física han recaído en científicos que han realizado avances en el ámbito de lo muy pequeño.

Evidentemente, me motivaba mucho el viaje que estaba a punto de emprender y, por ese motivo, mientras me familiarizaba con las teorías de todos esos pioneros intelectuales, empecé a escribir algunas de sus increíbles reflexiones para asegurarme de que las estaba entendiendo:

«Creo que puedo afirmar, sin miedo a equivocarme, que nadie entiende la mecánica cuántica».

RICHARD FEYNMAN, premio Nobel de física de 1965

«Dios nuestro señor es sutil, pero no es malicioso».

ALBERT EINSTEIN, premio Nobel de física de 1921

«Ningún lenguaje basado en la visualización es capaz de describir los saltos cuánticos».

MAX BORN, premio Nobel de física de 1954

«Es imposible que quienes no se asombran al descubrir la teoría cuántica la hayan entendido».

NIELS BOHR, premio Nobel de física de 1922

«Pensándolo bien, puede que Dios sea malicioso».

ALBERT EINSTEIN

Afirmaciones como estas de los padres fundadores de la materia bastarían para socavar las creencias del más seguro de los alumnos. Sin embargo, y acompañado de otros doscientos hombres y mujeres jóvenes de todo el mundo, superé clases enloquecedoras y aprobé lo que, por aquel entonces, se denominaba tercer examen del Tripos Matemático, probablemente el examen de matemáticas más antiguo del mundo. No obstante, las asignaturas seguían basándose principalmente en las matemáticas puras, y la cantidad de materia que aprendimos era tan colosal que apenas teníamos tiempo de pensar en la filosofía que había tras ella.

Y entonces llegó la gran inmersión.

A los nueve meses de mi llegada a Cambridge, el profesor Stephen Hawking, uno de los físicos más famosos (y brillantes) de nuestro tiempo, me ofreció la oportunidad de tenerlo como director de tesis y trabajar sobre los agujeros negros y los orígenes de nuestro universo. Como la reflexión

profunda se iba a convertir en algo ineludible, dediqué el verano siguiente a repasar todo lo que pude encontrar sobre, básicamente, todo, y llegué al punto aproximado que acabas de alcanzar en el libro. Con Hawking como director, estaba a punto de relacionarlo todo e ir mucho, pero mucho más allá. Ahora te toca a ti hacer lo mismo.

¿Qué te queda por ver?

Te voy a dar una pista.

En 1979, tres científicos teóricos fueron galardonados con un premio Nobel de física muy especial. Se trataba del paquistaní Abdus Salam y los estadounidenses Sheldon Lee Glashow y Steven Weinberg.

Los científicos llevaban años tratando de comprender algunos aspectos bastante peculiares de la fuerza nuclear débil que has visto recientemente en acción. Glashow, Salam y Weinberg descubrieron algo increíble: que el electromagnetismo y la fuerza débil son simplemente dos aspectos de otra fuerza, un campo distinto que existió hace mucho tiempo. Constataron que, durante los primeros tiempos de nuestro universo, al menos dos de los océanos cuánticos que llenan nuestra realidad habían sido solo uno, el denominado *campo electrodébil*.

Se trataba de un avance extraordinario por sí mismo (de ahí que les valiera el Nobel) pero, además, tendió un puente para alcanzar algo mucho, mucho mayor: la seductora perspectiva de lograr unificar *todas* las fuerzas conocidas de la naturaleza en una sola fuerza (y una sola teoría).

La búsqueda de esa unificación subyace a todo lo que experimentarás desde este momento y hasta el final del libro. Con este objetivo en mente, viajarás hacia el origen del espacio y el tiempo, al interior de un agujero negro e incluso más allá de nuestro universo.

Sin embargo, para llegar a esos destinos, primero tendrás que averiguar qué queda cuando uno vacía un lugar de todo lo que contiene.

2

La nada no existe

Sigues en la cocina.

Es una noche oscura y apacible.

Si antes pensabas que el mundo era hermoso, tras lo que has aprendido durante tus viajes se ha transformado de arriba abajo. Todo parece más profundo y cargado de poder y misterio.

Incluso tu humilde cocina.

El aire que te rodea está repleto de átomos en suspensión que se deslizan por la curva espaciotemporal de la Tierra.

Átomos que se formaron en el núcleo de estrellas que llevan largo tiempo muertas.

Átomos en tu interior, por todas partes, que se desintegran y transmiten radiactividad.

Bajo tus pies está el suelo, cuyos electrones se niegan a dejar pasar a los tuyos, lo cual te permite mantenerte en pie, caminar y correr.

La Tierra, tu planeta, es una amalgama de materia formada por los tres campos cuánticos que la humanidad conoce unidos por la gravedad, la llamada cuarta fuerza (aunque no es una fuerza), que flota en el interior del espacio-tiempo y viaja a través de él.

Todo esto suena tan absurdo, o tan directamente milagroso, que decides prepararte un poco más de café, vas a la sala de estar y te sientas en tu viejo sofá, cómodo, sólido y reconfortante.

Intentas ordenar un poco todas las ideas que te rebotan por la cabeza. ¿Está el sentido de la vida escondido en algún lugar ahí fuera, más allá de lo que hemos visto hasta ahora? De hecho, ¿tiene sentido algo de lo que has aprendido hasta este punto?



Antes de que te dirijas a lugares más remotos todavía que los que has visitado hasta ahora, permíteme que te recuerde que el desenmarañamiento de los misterios del mundo es una obra que sigue en marcha. La ciencia dispone de muchas respuestas, pero quizá no de todas. En realidad, todo depende de tus expectativas, por lo que debo advertirte de que es posible que nada tenga más sentido al final que al principio del camino. Como dijo en su día el físico teórico estadounidense Edward Witten: «Más allá del confort de tu casa, el universo no se hizo para tu comodidad».[39]

Creo que vale la pena tener en cuenta este detalle mientras zarpamos hacia mares más oscuros porque, por más intimidante que pueda parecer la idea, nos ofrece una libertad extraordinaria para interpretar lo que vemos de una forma personal, y eso es bueno. Cuantos más puntos de vista distintos existan, mejor para la humanidad y para la ciencia.

Y ahora, como apunté al final del capítulo anterior, antes de franquear con decisión las puertas de lo desconocido, debemos familiarizarnos con un concepto que los científicos han denominado el *vacío*. Se trata del concepto en el que los físicos teóricos basan hoy en día su idea de nuestra realidad cuántica, un constructo mental que nos ha ayudado a realizar predicciones increíblemente precisas que se han verificado una y otra vez mediante incontables experimentos distintos.

Elige un lugar, una región cualquiera de nuestro universo y quita todo lo que contiene. Y cuando digo todo, quiero decir todo.

Aunque parezca raro, lo que te queda no está vacío aunque hayas despejado el lugar concienzudamente de todo lo que contenía.

¿Tiene sentido? A duras penas, pero a la naturaleza no le importa si algo le parece bien o no a los humanos.

Ahora cierra los ojos, por favor.

¿Por qué?

Porque algunas de las cosas que nos rodean no soportan que las miremos, y el vacío que estás a punto de encontrar es una de ellas.

Para asegurarte de que estás listo, tómate un minuto para relajarte y vuelve a pensar en el vuelo de vuelta desde la encantadora isla tropical.

Recordarás que te quedaste dormido poco después del despegue. De hecho, si se lo hubieras preguntado a tu vecino de asiento, el raro,

seguramente te habría dicho que te pasaste la mayor parte del viaje roncando como un oso.

Entonces, ¿qué sucedió exactamente durante el viaje mientras pasabas ocho horas durmiendo? ¿Qué franjas horarias cruzaste por el camino? De hecho, ¿qué camino sigue *cualquier* avión que surca el cielo cuando no lo observa nadie activamente?

Lo único que sabes del vuelo es lo que viste antes de dormirte y al despertar. A través de la ventanilla, viste cómo el avión abandonaba la pista de despegue de una isla lejana y también lo viste aterrizar sin contratiempos en tu país. Entre ambos momentos, tu cerebro no registró ninguna ruta de vuelo. Simplemente, no sabes lo que ha pasado.

¿Y si alguien te dijese que tu avión ha seguido una ruta totalmente inesperada? Pasando por Júpiter, por ejemplo. ¿Y si te dijeran que ha atravesado la Tierra como un neutrino o que ha viajado hacia atrás y hacia delante en el tiempo? Supongo que te costaría mucho creerlo.

Sin embargo, aunque solo fuera durante un sueño, ya experimentaste una trayectoria extraña de ese tipo en la tercera parte del libro, al viajar 400 años hacia el futuro de la Tierra en ocho horas de tu propio tiempo, así que tendremos que echar un vistazo a lo sucedido con más atención.

Como ya sabes, para que sucediera algo así de verdad, el avión tendría que haber viajado a una velocidad extraordinaria. De hecho, tendría que haberse adentrado en el espacio exterior a una velocidad cercana a la de la luz antes de regresar a una Tierra 400 años más vieja.

Puede que en la vida real encuentres algunos argumentos convincentes para rebatir una trayectoria semejante, o cualquier otro camino igualmente extraño que pudiera haber tomado tu avión, pero ¿y si te dijese que, mientras dormías, tu avión no solo viajó al espacio y regresó, sino que, en realidad, tomó simultáneamente *todos los caminos posibles e imposibles* que llevan del lugar y el momento en el que te dormiste al lugar y el momento en el que despertaste? Un viaje a través de la Tierra de ida y vuelta. Un viaje alrededor de Júpiter de ida y vuelta. Todos.

Sería imposible que me tomases en serio, ¿verdad?

Perfecto.

Eso significa que por fin estás listo para echar un vistazo al vacío.

El café, los jarrones, el sofá, tu casa... Todo ha desaparecido.

Vuelves a estar en un mundo que solo pueden visitar las mentes y eres poco más que una sombra: completamente transparente, aunque sí tienes una silueta. No te afecta nada de lo que te rodea ni puedes afectar a nada.

Sin embargo, lo que te rodea no es completamente homogéneo.

Desde tu punto de vista, no hay nada, claro.

Solo una oscuridad que te rodea y se extiende hasta el infinito.

Como a estas alturas ya estás acostumbrado a este tipo de cambio de escenario tan drástico, flotas con suavidad a través de lo que parece un universo desprovisto de todo lo que contenía.

Al principio, las vistas son relajantes, pero tienes que admitir que pronto se vuelven aburridas. A falta de algo mejor que hacer, empiezas a replantearte lo que te acabo de contar sobre tu sueñecito en el avión.

¿Es posible que un avión, un avión *real*, vuele de veras de un modo totalmente inesperado? Una cosa es tener una mentalidad abierta respecto a la posibilidad de que haya seguido varias rutas sinuosas, pero ¿pensar que realmente ha volado a través del centro de la Tierra? ¿O al pasado y al futuro? ¡Anda ya!

Tienes razón. «¡Anda ya!» es la única reacción natural ante una idea tan ridícula.

Sin embargo, no deberías cerrarte a ella, porque lo que parece una locura cuando hablamos de un avión, podría ser muy cierto en el ámbito de las partículas.

Empecemos, pues, por pensar en una partícula, una que nadie observa. Imagina que tiene que viajar de un lugar a otro y que solo puede ser detectada en los puntos de salida y de llegada. Ahora repitamos la pregunta: si no puedes verla, ¿qué camino seguirá la partícula para ir de un lugar a otro?

Supongo que depende...

Pues no, no *depende*. La idea puede parecer muy abstracta en el caso de un avión, pero es un hecho cuando nos referimos a partículas. Una partícula sigue *todos* los caminos que uno pueda imaginar, tanto si nos parece razonable como si no, siempre y cuando no la observe nadie. Las partículas no se mueven ni se comportan como nada que hayas visto o experimentado en tu vida cotidiana. Seguramente ya vislumbraste este detalle mientras viajabas por el mecanismo interno de un átomo y viste que los electrones y todo lo demás no son simples esferas de materia. Ahora nos acercamos a una verdad todavía más profunda: los campos cuánticos les hacen cosas extrañas a las partículas.

La pertenencia a un campo cuántico implica realmente que las partículas se dividen constantemente en muchas imágenes de sí mismas. Los caminos que toman todas estas imágenes ocupan hasta el último rincón disponible en el espacio y el tiempo, pero solo tienes una oportunidad —o, más bien, una probabilidad— de encontrar una partícula en un lugar y un instante concretos cuando intentas detectarla.

La cosa es aún peor: antes de detectar una partícula de materia o de luz, sus incontables imágenes también pueden dividirse antes de volver a transformarse en la partícula que eran originalmente. Del mismo modo que la luz puede convertirse en un electrón y los electrones pueden convertirse en luz, todas las partículas de nuestro universo pueden convertirse en otra cosa cuando no estamos mirando. Las partículas cuánticas son cositas tramposas: todo lo que pueda pasar pasará siempre que dejemos la naturaleza sin supervisión. Si no confías en mi palabra, puedes verlo tú mismo.



Algo le está pasando a la interminable noche espacial en la que flotas: una habitación cúbica, blanca y sin puertas se materializa a tu alrededor, y pronto te encuentras en el interior de una sala cuyas paredes están cubiertas de detectores extremadamente minúsculos y totalmente blancos. Hay millones de ellos.

Justo delante de ti, en el centro de la habitación sin puertas, un poste metálico vertical de la anchura de una de tus manos va del suelo al techo.

Aparte de eso, en la habitación no hay nada más a excepción de una máquina amarilla que se parece un poco a esos aparatos mecánicos que lanzan pelotas de tenis. El extraño robot casi parece estar mirándote a través del extremo del tubo lanzador.

La máquina te saluda. Al parecer, la han programado para ser educada.

No tiene boca, ojos, orejas ni nada parecido, pero habla en un tono algo oxidado.

—Hola —contestas, por si las moscas.

Empiezas a hacer una pregunta, pero la máquina te interrumpe y te informa de que está llena de partículas en movimiento que va a proceder a lanzar, de una en una, al otro extremo de la habitación.

Si te preguntas si son partículas de luz o de materia, la respuesta es que da igual, ya que, en un experimento como el que estás a punto de presenciar, la luz y la materia se comportan fundamentalmente igual.

El robot no parece dispuesto a esperar e inicia de inmediato una cuenta atrás:

—Tres... dos... uno...

El tubo emite una partícula y, un instante después, suena una campana en el otro lado de la habitación. Tienes la extraña sensación de que el robot está bastante orgulloso de sí mismo.

Te vuelves ligeramente hacia un lado y ves que uno de los detectores de la pared, situado tras el poste, se ha vuelto negro.

—Primera pregunta: ¿cómo ha llegado hasta ahí la partícula? —pregunta el robot.

El tono inexpresivo y profesoral de la máquina no te impresiona. Te colocas delante del lanzador de bolas y compruebas que una línea recta conecta el lugar por el que el tubo ha disparado la partícula y el detector ennegrecido. La línea recta de la trayectoria que aparentemente ha recorrido la partícula casi toca el poste de metal, pero no llega a hacerlo.

—Ha seguido este camino —anuncias, levantando un dedo para señalar hacia la única dirección posible que puede haber seguido la partícula.

—Incorrecto —responde el robot.

—¿Perdona? —replicas, sorprendido.

—Tu respuesta es incorrecta, independientemente de la dirección hacia la que señales —constata el robot, y te replanteas si de verdad lo han programado para ser educado.

—Pero ¡solo hay un camino posible! Lo estoy viendo con mis propios ojos.

—Si confías en tus sentidos y tu intuición, no dejarás de dar respuestas incorrectas —prosigue la máquina—. Todos los humanos reaccionan igual cuando entran por primera vez en esta sala. Las leyes que rigen las partículas cuánticas no son las mismas que gobiernan tu vida cotidiana. Los sentidos y la intuición no te servirán de nada con las partículas. Olvídalos.

Aunque te parezca desconsiderado, el robot tiene toda la razón del mundo. A pesar de su humilde apariencia, en este libro cumplirá la función de ser el ordenador más avanzado del mundo. Si los ordenadores suelen ser los mejores amigos de los científicos en la vida real, ya que les permiten visualizar sus teorías, nuestro superordenador robotizado nos será muy útil durante el resto del libro.

Puede simular cualquier cosa que obedezca las leyes de la naturaleza tal y como las conoce la humanidad. La sala blanca en la que te encuentras, por ejemplo, es una creación del ordenador. Sin embargo, todo lo que sucede en el interior de esa habitación obedece las leyes de la naturaleza conocidas.

Puede que tengas la impresión de que la partícula que ha lanzado nuestro robot haya volado trazando una recta perfecta, pero las partículas pertenecen al mundo de lo muy pequeño, por lo que se sitúan fuera de los dominios del sentido común. El ordenador te ha dicho que te equivocabas porque lo que acaba de suceder no tiene nada que ver con lo que pueden detectar tus ojos ni con lo inteligente que seas. El ordenador habla de la naturaleza, y esta se muestra tan intratable como clara en este punto: las partículas cuánticas no se comportan como las pelotas de tenis, sino como las partículas cuánticas que son. Para viajar de un lugar a otro, siguen *todos* los caminos posibles en el espacio y el tiempo, siempre y cuando conecten su punto de partida con el de llegada. La partícula que ha disparado el robot ha ido, literalmente, a todas partes. Simultáneamente. A la izquierda y a la derecha del poste. Y a través. Y fuera de la habitación. Y al futuro y de vuelta al presente. Todo eso hasta el momento en el que ha impactado contra el detector de la pared.

No te preocupes: no pasa nada si no lo entiendes. En realidad, da igual si lo entiendes o no, simplemente así *es* como funciona la naturaleza. Las partículas que nadie observa *viajan* a través de todos los caminos que les ofrece el espacio-tiempo. El poste metálico situado en el centro de la habitación no cambia nada. De hecho, solo está ahí para enfatizar visualmente la idea. Si lo quitamos, la partícula seguiría viajando a la izquierda y a la derecha de donde estaba.

Sin embargo, los detectores de las paredes sí que marcan una diferencia, ya que, al golpear uno de ellos, la partícula ha delatado su presencia *en alguna parte*.

A tu lado, el robot lanzador de partículas empieza a vibrar y a calentarse. Te preguntas si estará a punto de averiarse pero, anticipándose a tu pregunta, de repente vuelve a hablar:

—Todo va bien. Estoy ralentizando el tiempo. El proceso requiere energía. La próxima vez que parpadees, lanzaré otra partícula y verás el aspecto que tendría la habitación si pudieras presenciar todos los caminos que recorre una partícula para ir desde el tubo lanzador hasta la pared.

Parpadeas sin pensarlo y el robot inicia otra cuenta atrás. El flujo del tiempo también empieza a ralentizarse.

—Tres... Dos... Uno...

La partícula abandona el robot a una cámara lenta extremadamente exagerada. Al principio, parece una especie de nube borrosa. Te colocas justo detrás del tubo disparador y la ves dividirse en un número aparentemente infinito de imágenes fantasmales de sí misma, una auténtica onda, una ola que se propaga por el campo al que pertenece y viaja en todas las direcciones posibles en el espacio y el tiempo, incluidas a izquierda y derecha del poste, a través de él y de las paredes de la habitación, separándose para llevar a cabo todas las rutas posibles que puedas imaginar antes de volver a concentrarse en un punto al otro lado de la habitación, donde acciona otro detector. Suena una campana, el detector se ennegrece y el tiempo recupera su ritmo habitual.

Lo que acabas de ver por cortesía de la simulación de una habitación blanca que ha realizado el ordenador, es lo que los científicos creen que les ocurre a las partículas cuando nadie las observa. Cuando alguien las mira, las reglas cambian por completo. Cuando los radares siguen el rastro de un avión durante todo un vuelo, el aparato no puede estar en ningún otro lugar distinto a aquel en el que se lo detecta. De modo análogo, cuando intentamos detectar una partícula, como ha hecho el detector de la pared, la partícula deja de estar en todas partes y está en un lugar concreto. A diferencia de lo que sucede con un avión ocupado por personas, cuando nadie mira, una partícula está realmente en todas partes.



A primera vista, podría recordar al árbol que cae en un bosque. ¿Hace ruido si no hay nadie que pueda oír la caída? Y ya puestos, ¿ha caído de verdad?

Sin embargo, ahora no estamos hablando de filosofía, sino de la naturaleza, y de cómo se comportan las partículas que nos rodean y de las que estamos hechos.

Pese a todo, ¿por qué deberían las partículas, o la naturaleza, tener en cuenta si un humano las observa o no? Muchos científicos se han hecho esta pregunta y algunos de ellos han obtenido respuestas muy locas que veremos más adelante, en la sexta parte de este libro. De momento, baste con decir que lo que acabas de presenciar se ha confirmado en incontables experimentos. Las partículas están en todas partes y, de pronto, dejan de estarlo: en la

simulación del robot, los propios detectores obligaron a las partículas proyectadas a golpear algún punto de la pared.

—Si estás confundido, estás en todo tu derecho —comenta el robot—. Te he demostrado que el simple acto de supervisar la realidad cambia su naturaleza.

—¿Cómo dices? —preguntas, frunciendo el ceño.

—La realidad cambia cuando la miras —repite el robot con una inflexión monótona—. Y tienes todo el derecho a sentirte confundido.

El diminuto mundo cuántico parece ser una mezcla de posibilidades.

Los campos cuánticos a los que pertenecen todas las partículas son la suma de estas posibilidades y, por algún motivo, una posibilidad resulta elegida entre todas las existentes por el simple hecho de *verla*, gracias al simple acto de *detectarla* cuando alguien intenta investigar la naturaleza de una partícula. Nadie sabe por qué o cómo ocurre, pero el resultado es el mismo en todos los casos. En cuanto interactúas con el mundo cuántico, la multitud se convierte en singularidad. Es parecido a lo que ocurre cuando, desde el punto de vista de cualquier otra persona, todas las ideas que puedes haber tenido o no en algún momento de tu vida sobre un tema determinado se reducen a una sola en el momento en el que alguien te escucha hablar. Eso es lo que han provocado los detectores del fondo de la sala blanca. Han *obligado* a la partícula disparada por el robot a acabar *en algún punto* en concreto, en vez de continuar estando en todas partes, y la han desposeído así de su naturaleza ambigua.

En cuanto empiezas a entender las posibles consecuencias de todo esto, sientes mariposas en el estómago aunque todavía eres una sombra. ¿Podría significar eso que, con un equipo de detección adecuado, serías capaz de crear una realidad propia? ¿Bastaría con intentar detectar las partículas y la propia materia para obligarlas a moverse en una dirección concreta y moldear todo el universo a tu antojo? Witten dijo que el universo no estaba hecho a tu conveniencia, pero quizá se equivocaba.

Antes de que te pongas a fanfarronear, lamento mucho decirte que Witten tenía razón después de todo y el poder que acabas de descubrir solo es un espejismo. No puedes moldear el universo, porque es imposible predecir cuál de todas las posibilidades cuánticas que conforman el mundo cuántico se hará real al observarlo. Es parte de la magia de los campos que componen el universo. El mundo cuántico transforma lo que considerábamos certezas en

posibilidades y probabilidades que podemos poner a prueba mediante experimentos cuyo resultado nadie puede predecir con total seguridad. Es como lanzar una moneda al aire o tirar un dado. Los científicos pensaban que esta incertidumbre estaba asociada a una carencia en sus conocimientos, pero se demostró que no era el caso gracias a un famoso teorema publicado en 1964 por el físico norirlandés John Stewart Bell. El teorema de Bell permitió al físico francés Alain Aspect demostrar experimentalmente que la existencia de posibilidades en lugar de certezas es una propiedad de lo muy pequeño que, simplemente, tenemos que aceptar.

De acuerdo.

¿Qué tiene todo esto que ver con el vacío que ibas a inspeccionar? Bien, estás a punto de descubrirlo.

La sala blanca repleta de detectores se desvanece junto con el poste metálico que había en el centro de la habitación y el robot amarillo, que ni se ha molestado en despedirse.

Vuelves a estar en mitad de lo que parece ser la noche cósmica, solo y rodeado de la nada.

Te encoges hasta alcanzar el tamaño de tu mini tú y detectas que algo se mueve.

Es como si..., como si una partícula (o tal vez eran dos, no estás seguro) acabase de aparecer justo delante de ti y después se hubiera volatilizado con un fogonazo.

No había nada a tu alrededor, luego había algo y ahora vuelve a no haber nada.

Es raro.

Entonces sucede una vez más. Y otra. E incontables veces más, por todas partes.

Lo que estás presenciando es la creación aparentemente espontánea de partículas de la nada. Y, antes de desaparecer por algún motivo, esas partículas recorren todos los caminos posibles que su libertad cuántica les permite tomar.

Puedes aceptar la última parte de esa afirmación. En la habitación blanca has podido comprobar que es un comportamiento propio de las partículas cuánticas sin supervisión. Sin embargo, ¿pueden materializarse de la nada?

De hecho, lo que las rodea no es nada. Tienen campos cuánticos a su alrededor.

Para aparecer, las partículas necesitan tomar prestada un poco de energía de los campos cuánticos. Como estos llenan hasta el último rincón del espacio y el tiempo, las partículas pueden materializarse literalmente en cualquier lugar y en cualquier instante. Esa es la razón por la que no existe el auténtico vacío en ningún lugar del universo.

Miras un punto más alejado de la oscuridad y de pronto, como si te acabasen de quitar un filtro de delante de los ojos, visualizas la realidad. Partículas. Fusionándose. Por todas partes. Ocupan todo el espacio disponible, cruzan un fondo bullicioso de bucles que fluctúan, partículas virtuales que se mueven e interactúan entre sí, que aparecen y desaparecen entre estallidos de luz o de energía. Una extraordinaria exhibición de fuegos artificiales que se repite por todas partes sin dejar ni un solo rincón vacío. Básicamente, es todo lo contrario de lo que antes pensabas que era la nada que llenaba el inmenso vacío del espacio exterior.

Esto es lo que los científicos denominan el *vacío*.

Es lo que queda cuando se quita todo lo demás: campos cuánticos con el mínimo nivel de energía posible, con partículas virtuales que surgen espontáneamente de ellos, se desplazan por todas partes y vuelven a desaparecer en el olvido.

Lo diré una vez más: en nuestro universo no existe el vacío.

Después de quitar todo lo que ocupa un espacio, es razonable que consideres que no debería quedar nada, pero el caso es que, del mismo modo que no puedes quitar el espacio y el tiempo de ningún lugar, tampoco puedes hacer desaparecer el vacío de los campos cuánticos.

No obstante, si el vacío no está del todo vacío, y si el vacío de un campo cuántico se define mediante todas las partículas que pueden surgir de él, se nos presenta una cuestión bastante legítima: ¿el vacío es igual en todas partes o puede cambiar su naturaleza de un lugar a otro? ¿Existen distintos vacíos?

En 1948, el físico holandés Hendrik Casimir predijo que si un vacío se definía según estos términos y toda esta idea no era una simple fantasía teórica, no solo deberían existir distintos tipos de vacío, sino que también ejercerían un efecto muy concreto en nuestro mundo. Un efecto que podía detectarse.

Imagina una pared colocada sobre ruedas multidireccionales que separase una habitación llena de aire de otra llena de agua. Cabría esperar que la pared se moviera debido al suave empuje lateral del agua sobre las ruedas y se desplazase hacia la sala llena de aire. Ahora imagina dos planchas de metal minúsculas situadas la una frente a la otra. Si las dejáramos en esa posición, deberían moverse igual que la pared que separa las habitaciones llenas de agua y de aire: tendrían que repelerse o atraerse entre sí debido a la diferencia existente entre el vacío que delimitan y el vacío que las rodea.

¿Por qué?

Por el simple hecho de que hay más espacio alrededor de las planchas que entre ellas. Este detalle provoca que las partículas virtuales que se materializan de la nada entre ambas planchas sean distintas de las que aparecen en su exterior, lo que provoca que ambos vacíos sean diferentes.

El resultado de esta situación es que las planchas deberían moverse y, de hecho, lo hacen, como pudieron confirmar experimentalmente el físico estadounidense Steve Lamoreaux y sus colegas en 1997. Este efecto se conoce como el *efecto Casimir*.

El efecto Casimir confirma que el vacío no existe, e incluso llega más allá, al demostrar que hay distintos tipos de vacío que pueden producir una fuerza: la energía del vacío.^[40]

Por cierto, quizá te hayas dado cuenta de que acabas de resolver un misterio muy, pero que muy profundo.

Como ya sabes desde hace algún tiempo, todas las partículas de nuestro universo son expresiones de campos cuánticos. Son como las olas del mar. Como pelotas lanzadas al aire. Tanto las partículas como las olas nacen y se propagan a lo largo del campo cuántico al que pertenecen.

¿Recuerdas que al explorar lo muy pequeño observaste que todas las partículas elementales que encontrabas eran siempre iguales? ¿Recuerdas que dos electrones siempre eran idénticos entre sí?^[41]

¿Cómo es posible?

En la vida cotidiana, esta perfección es, simplemente, inexistente. Hagas lo que hagas, y sea lo que sea lo que mires, construyas o pienses, no hay dos objetos exacta y perfectamente idénticos. Ni personas (ni siquiera los gemelos). Ni pájaros. Ni pensamientos. Nunca. Aunque parezcan similares, no son idénticos. Entonces, ¿cómo es posible que los electrones y otras

partículas fundamentales sean siempre *absoluta y perfectamente* idénticos a cualquier otro de su tipo?

La respuesta es que todas las partículas elementales, a lo largo y ancho del universo, surgen de las mismas entidades de fondo, las cuales son capaces de volver a engullirlas en cualquier momento: el vacío de un campo cuántico. Los mares de fondo invisibles que llenan todo nuestro universo.

Todos los electrones son expresiones idénticas del campo electromagnético, todos surgen de su vacío y se propagan a través de él. Y lo mismo vale para los fotones.

Cada vez que se materializa un electrón, se debe a que el vacío del campo electromagnético que lo rodea recibe una patada que lo despierta de su letargo fantasmagórico. Cada vez que aparece un gluón, procede de la energía que emite o recibe el vacío del potente campo de interacción. Cada vez que se produce una desintegración radiactiva, el vacío del campo débil se ve implicado en el fenómeno y activa sus neutrinos elementales. Cuanta más energía posea el vacío, más partículas elementales podrán surgir de él.

Perfecto, vamos embalados, así que prosigamos: parece ser que todos los campos se comportan igual y obedecen las mismas leyes. Pero ¿qué pasa con la gravedad?

En cualquier lugar en el que actúa la gravedad, también lo hace un campo gravitatorio, aunque ese campo es distinto, al menos de momento, porque nadie sabe cómo podría ser un campo cuántico. Como podrás ver más adelante, nadie sabe cómo hacer que las partículas surjan del vacío de un campo gravitatorio sin crear problemas catastróficos. Sin embargo, si esto fuera posible, la gravedad implicaría partículas que, como ocurre con todos los demás campos, se materializarían en el campo gravitatorio para transportar su fuerza. Estas partículas se denominan *gravitones*. Todavía no se ha detectado ninguno, por lo que las curvas en el espacio-tiempo siguen siendo el mejor modo de explicar la acción de la gravedad.

De todos modos, aunque carezca de estas partículas y tal vez no posea una naturaleza cuántica, la gravedad no deja de ser un campo, con lo que el total de campos que la humanidad utiliza para describir todo lo que conocemos hasta ahora se reduce a cuatro.

¿Por qué cuatro?

¿Por qué hay cuatro campos fundamentales?

¿Por qué no usamos cinco, cuarenta y dos o 17 092 008 para explicar cómo se comporta la naturaleza?

¿Y qué hay de sus vacíos respectivos? ¿Cohabitan sin más en todas partes sin reparar en la presencia de los demás? Parece extraño, ¿no? ¿No nos haría la vida más fácil que solo hubiera un campo?

Sí, nos facilitaría la vida.

Además, la simplicidad es algo que siempre les agrada mucho descubrir a los físicos teóricos. Incluso inspira su imaginación y, por ese motivo, han intentado unificar los cuatro campos que hemos citado en un solo campo.

Un campo para gobernarlos a todos, podríamos decir.

Sin embargo, es más fácil decirlo que hacerlo.

Las partículas elementales de cada uno de los campos no son ni siquiera las mismas. Además, uno de ellos (la gravedad) ni siquiera tiene partículas que hayamos detectado.

Y excitar un campo produce efectos distintos que excitar otro, y no implica las mismas cargas. Además, no tienen las mismas propiedades ni por asomo: el electromagnetismo tiene efectos de largo alcance y puede atraer o repeler, mientras que la gravedad solo atrae, la interacción fuerte únicamente actúa a muy corto alcance y...

Y sin embargo...

Para obtener una aleación de dos materiales distintos, tienes que calentarlos. Si los haces a una temperatura lo bastante elevada, se funden y crean algo completamente nuevo, un nuevo material que los une a ambos.

La misma idea podría funcionar para unir campos, pero sería necesaria una cantidad de energía inconcebible. Para unir el campo electromagnético y el campo débil nuclear en un solo campo, se necesita una temperatura aproximada de mil billones de grados.

Mil billones de grados quedan, claramente, fuera del alcance de la naturaleza que conocemos hoy en día.

Sin embargo, puede que no siempre fuera así.

De hecho, esta cantidad desorbitada de energía sí que estaba disponible en todas partes hace mucho tiempo, cuando el universo era más joven y más pequeño. Al intentar desentrañar sobre el papel cómo se comportaba la naturaleza en aquellos tiempos, Salam, Glashow y Weinberg se las ingenieron para fusionar el campo electromagnético con el campo débil, gracias a lo cual descubrieron el campo electrodébil. Descubrieron que, en condiciones extremas, un solo campo contenía los dos que hoy en día rigen por separado los imanes y la radiactividad.

El siguiente paso consiste en unir este nuevo campo con el tercer campo cuántico conocido, el campo de interacción fuerte, el que regula cómo interactúan los quarks y los gluones en los núcleos atómicos. De lograrlo, tal vez crearíamos lo que se ha denominado, algo pomposamente, como la Gran Teoría Unificada. Para conseguirlo, necesitamos una energía todavía superior.

¿Hasta qué punto?

Una cantidad de energía mareante. Tanta que sumarle mil o dos mil millones de grados no supondría una gran diferencia. Pero ¿cómo sabemos que todo esto es real?

¿Cómo sabemos que Salam, Glashow y Weinberg acertaron? Además, si dejamos de lado la sensación de que «uno» tiene más sentido que «tres» o «cuatro», ¿cómo sabemos que realmente existe una Gran Teoría Unificada que espera ser descubierta?

Porque al unir los campos entre sí para crear uno nuevo, los físicos predijeron que ese nuevo campo debería poseer sus propias partículas fundamentales y portadoras de fuerza. Para poner a prueba esta idea, han construido aceleradores de partículas en las que hacen colisionar entre sí partículas ya existentes. En esos aceleradores, las partículas no solo se rompen y nos muestran de qué están hechas, sino que la tremenda energía que rodea la colisión también excita cualquier campo que se encuentre latente en nuestro universo.

La máxima energía alcanzada en el impacto de ese tipo de colisiones a fecha de 2015 corresponde a unos cien mil billones de grados. Podría parecer una cantidad enorme de energía, pero debemos tener presente que hablamos de un acelerador de *partículas*. No acelera vacas o planetas, sino partículas imposiblemente minúsculas. A una escala mayor, la energía producida por estas colisiones minúsculas apenas impulsaría el vuelo de un mosquito. Sin embargo, a escala local, la energía liberada es enorme y, tal y como predijeron Salam, Glashow y Weinberg, se generaron partículas completamente nuevas (específicamente, los bosones W y Z), las cuales solo tienen sentido cuando se las considera desde una perspectiva electrodébil.

No sé a ti, pero a mí ese tipo de logros nunca dejan de asombrarme.

¿Qué papel juega la gravedad en todo esto? Para convertir los cuatro campos en uno, la gravedad tiene que desempeñar un papel, así que ¿por qué íbamos a dejarla al margen? Responder a esta (difícil) pregunta será el objetivo de toda la séptima parte.

De todos modos, no seas impaciente porque, con lo que has visto hasta ahora, ya has aprendido casi todo lo que se puede saber de la materia de la que estás hecho, con una gran excepción: tu masa.

Visto así, puede que te preguntes por qué no habías leído nada sobre esta cuestión. Parece bastante importante, ¿no crees?

¿De dónde procede la masa?

Como ya sabes, las estrellas forjan grandes núcleos atómicos en su seno usando otros más pequeños.

Entonces, ¿las estrellas también crean masa?

No, de ningún modo.

En realidad hacen justo lo contrario.

Al expulsar los gluones redundantes durante el proceso de fusión, los neutrones y los protones pierden parte de su energía y, por lo tanto, masa, tal como dicta la fórmula de Einstein $E=mc^2$.^[42] Aquí reside el origen de la energía que hace brillar a las estrellas. Ya has visto cómo sucedía. Sin embargo, todo esto también te indica otra cosa: el hecho de que los núcleos atómicos pierdan masa al expulsar los gluones implica que los gluones *eran* esa masa. Este detalle te muestra que parte de la masa de los átomos procede de la simple existencia de las agrupaciones de gluones virtuales que encierran a los quarks. De hecho, cuando los científicos lo estudiaron con mayor atención, se dieron cuenta de que esta *energía de sopa de gluones* presente en todos los neutrones y protones del universo no solo supone esto, sino que representa una parte importante de la masa de la materia que conocemos. Una parte enorme. Pero no toda.

Lo que no nos dice, por ejemplo, es por qué los electrones y los quarks tienen masa. O, mejor dicho, *cómo* adquirieron esa masa, ya que antes carecían de ella.

Salam, Glashow y Weinberg demostraron que, hace mucho tiempo, cuando nuestro universo era extremadamente joven y se expandía al tiempo que se enfriaba, el campo electrodébil se dividió en los campos electromagnético y débil. Sin embargo, lo que no te había dicho hasta ahora es que, para que se produjese esta división, tenía que aparecer otro campo.

Otro campo cuántico, con sus propias partículas portadoras y todo.

Estas portadoras de fuerza no pueden llevar ninguna de las fuerzas que ya conoces, y no quedan más fuerzas conocidas. Entonces, ¿qué hacen?

Lo que hicieron fue dar masa a algunas partículas y dejar a otras sin ellas. Los fotones y los gluones, por ejemplo, no sentían su presencia y siguen sin percibirla. Pueden viajar a través de su campo sin notarlo. Por ese motivo, permanecieron sin masa y continúan viajando a la velocidad de la luz.

En cambio, los quarks, los electrones y los neutrinos sí que repararon en su presencia y adquirieron masa. Por ese motivo, ya no pueden alcanzar la velocidad de la luz.^[43]

Una vez más, ¿cómo sabemos que todo esto es cierto? ¿Cómo sabemos que un campo misterioso es el responsable de las masas de esas partículas?

Para empezar, este nuevo campo, como todos los demás, debería poseer unas partículas fundamentales propias.

Sin embargo, y como cabía esperar, no son fáciles de ver o detectar.

Según los cálculos, para que este campo despierte y genere sus partículas fundamentales se requiere una tremenda cantidad de energía, incluso más que para el campo electrodébil. No obstante, y por increíble que parezca, en 2012, los científicos consiguieron hacer exactamente eso en el GCH, el acelerador de partículas más potente de la Organización Europea para la Investigación Nuclear, situado cerca de Ginebra, en Suiza.^[44] Detectaron una partícula fundamental que pertenece a este campo. Era la pieza que faltaba en el rompecabezas y permitió conocer el origen de toda la masa conocida de nuestro universo, ya sea debida a gluones o no.

Lo cierto es que confirmó que los físicos habían ido por el buen camino desde el principio.

Los medios denominaron a la partícula detectada *bosón de Higgs* (aunque podría haber muchos tipos distintos de partículas de Higgs) y el campo del que se extrajo se conoce como *campo de Higgs* o *campo de Higgs-Englert-Brout*. En el año 2013, el físico teórico británico Peter Higgs y el belga François Englert recibieron conjuntamente el premio Nobel por este descubrimiento (que habían predicho más de cuarenta años antes junto a Brout, que desgraciadamente falleció en el año 2011).^[45] En pocas palabras, habían descubierto cómo se generó parte de la masa hace 13 800 millones de años, mientras se enfriaba nuestro universo. Un logro muy importante para ellos y para la humanidad.

Aunque el descubrimiento fue una noticia de portada, vale la pena volver a subrayar que el campo de Higgs no es responsable de la masa de todo aquello de lo que estamos hechos. Solo de una parte. Como hemos dicho anteriormente, la mayoría de masa de los neutrones y los protones procede de la fuerza que confina a los quarks dentro de sus límites, del caldo de quarks y gluones que se concentra en su interior. Si el campo de Higgs se apagase de repente, los quarks perderían toda su masa y moriríamos, pero la masa del protón y el neutrón apenas cambiaría.

Una vez enfatizada la importancia del campo fuerte en nuestra masa, y ahora que ya sabemos de dónde procede toda la masa de toda la materia, recuerda todas las partículas que viste aparecer del vacío en un momento anterior del capítulo. Las viste... pero no deberías haberlas visto. La naturaleza no permite que las partículas aparezcan por iniciativa propia sin pagar un precio.

El precio, como estás a punto de comprobar, es la existencia de un nuevo tipo de materia llamada *antimateria*.

3

Antimateria

Durante la mayor parte de la historia de la Tierra, los seres humanos desconocían la mayoría de su superficie. Hoy en día tenemos fácil acceso a las imágenes por satélite de todo nuestro planeta pero, hace unos siglos, cuando solo algunas porciones de Europa, América y Asia habían sido cartografiadas por sus habitantes, no existía una imagen conjunta del mundo consensuada. Por ese motivo, intrépidos aventureros de muchas civilizaciones se veían obligados a abandonar la seguridad de sus costas y navegar entre ventiscas y tormentas para descubrir qué había más allá de su tierra natal, si es que había algo. Una tras otra, fueron descubriendo masas de tierra lejanas que jamás había pisado otro humano, y también encontraron otras civilizaciones y pequeños cúmulos de roca rodeados de agua a los que llamaron islas. A los más grandes los denominaron continentes. Cada descubrimiento de este tipo ampliaba el reino de la humanidad y, al mismo tiempo, permitía a nuestros antepasados comprender un hecho muy sencillo: todos vivimos en la superficie de una bola increíblemente rica pero más bien pequeña que viaja a través de un universo inmenso.

Transcurrieron décadas.

Una mezcla de violencia, avaricia y curiosidad propició que conociéramos mejor la Tierra, y lo desconocido se trasladó de algún lugar más allá del horizonte a todo lo que había por encima de nuestras cabezas. El espacio se convirtió en el nuevo misterio que todo el mundo podía escudriñar simplemente mirando hacia arriba. Sin embargo, allí fuera, las distancias son descomunales. En el momento que escribo este libro, se han mandado satélites de fabricación humana a varios cientos de millones de kilómetros de la Tierra para intentar descubrir los orígenes del agua y, tal vez, de los fundamentos de la propia vida en nuestro planeta.

Hoy en día, la exploración ya no se basa únicamente en mandar seres humanos a aventuras peligrosas. Disponemos de robots que pueden hacerlo por nosotros. No obstante, en un momento en el que el entusiasmo por los viajes interplanetarios vuelve a estar en boga, ¿es posible, a principios del siglo XXI, quedarse en la Tierra y ser un explorador?

Por supuesto que sí.

Podríamos centrarnos en el fondo de los océanos, un entorno tan hostil para nuestra tecnología (por no hablar de nuestros cuerpos) que ha habido menos personas que se hayan sumergido en ellos que astronautas que hayan puesto un pie en la Luna.

Y también podríamos adoptar un enfoque completamente distinto y hacer ciencia.

Puede que la ciencia no tenga tanto glamour como navegar en una carabela o pilotar una nave espacial, pero puede llevarte *a cualquier parte*. Desde el fondo del mar a los límites de nuestro universo conocido. Y más allá. Como probablemente habrás comprobado mientras lees este libro, tu mente puede trasladarte a lugares que están prohibidos a tu cuerpo, y también a otros sitios a los que nadie ha ido jamás. No habrá dos lectores que hayan hecho el mismo viaje al profundizar en la naturaleza del espacio-tiempo o del comportamiento cuántico de las partículas y la luz, porque nadie se habrá imaginado las mismas cosas exactamente. Al crear galaxias y partículas virtuales de luz en tu imaginación, te has adentrado en el mundo de la investigación teórica, un mundo sin límites.

Nadie sabe por adelantado en qué dirección se encuentra una isla o un continente inexplorados, y muchos exploradores deben fracasar para pavimentar el camino hacia un gran descubrimiento. La suerte puede ser importante, por supuesto, pero no podemos confiar en ella. Sin embargo, sí podemos hacerlo en la planificación basada en los descubrimientos anteriores. El mismo principio es aplicable a la ciencia, y el descubrimiento de la antimateria sigue este antiguo camino de los pioneros. Un gran genio nos abrió los ojos al siguiente hecho asombroso: la materia de la que estamos hechos, la materia que da cuerpo a los planetas, las estrellas y las galaxias *solo es la mitad de la materia que existe*, y no llegó a esta conclusión por un golpe de suerte. Trabajaba sobre lo que se había hecho antes que él; concretamente sobre la obra de Einstein acerca de cómo se mueven las cosas cuando lo hacen muy rápido y sobre el curioso comportamiento de las partículas cuánticas. Ese hombre se llamaba Paul Dirac. Fue el creador de la

idea del campo cuántico y, a consecuencia de ella, descubrió la antimateria. Dirac fue un científico británico que, entre 1932 y 1969, ocupó la Cátedra Lucasiana de matemáticas de la Universidad de Cambridge, una de las cátedras científicas más prestigiosas del mundo. Isaac Newton la ostentó entre 1669 y 1702, y también lo hizo Stephen Hawking entre 1979 y 2009.

Entonces, ¿qué es la antimateria?

Ya sabes qué significa la fórmula $E=mc^2$: que la masa puede transformarse en energía y la energía en masa. Con una tasa de cambio bastante elevada. Como acabas de comprobar en el capítulo anterior, el vacío puede tomar prestada esa energía de los campos durante un breve período de tiempo para crear partículas.

Volvamos a tu mini tú.



Sigues en un universo sin nada, rodeado de un vacío, concretamente un vacío del campo electromagnético.

Un electrón se materializa justo delante de ti.

¿Por qué? Porque sí. Así que ves aparecer un electrón. *Pop*. Tal cual.

Hace un momento, solo había vacío. Ahora hay un electrón, y este tiene masa. El simple hecho de que haya aparecido implica que una energía letárgica se ha transformado en esa masa. $E=mc^2$ en acción. Hasta aquí, es fácil.

No obstante, el electrón también tiene una carga eléctrica. Este detalle nos plantea la pregunta: ¿dónde surge esa carga eléctrica?

La masa procede de la energía, y la masa y la energía son equivalentes, así que la aparición de masa partiendo de la energía es un proceso equilibrado. No es más que un cambio de forma por parte de la energía. Sin embargo, la carga eléctrica plantea un problema totalmente distinto. Una vez aparece el electrón, también aparece una carga eléctrica negativa. Antes no existía y ahora sí. Sin duda, este proceso no es aceptable. Como mencioné al final del capítulo anterior, no se puede crear algo de la nada sin pagar un precio por ello. Eso nunca sucede en la vida real —puedo oírte suspirar— y, por una vez, lo mismo es aplicable al mundo cuántico.

Entonces, ¿qué hacemos con esta carga? ¿Fingimos que no nos hemos dado cuenta de su presencia?

No podemos disimular, porque es algo demasiado grande. Todos los electrones del universo poseen una carga, y muchas otras partículas fundamentales también cuentan con ella.

Así que ¿de dónde ha salido esa carga?

La respuesta más sencilla suele ser la correcta, así que lo que ocurre es lo siguiente: un electrón nunca aparece solo. Debe aparecer junto a una partícula idéntica salvo por su carga, que es opuesta. Esta partícula se denomina *antielectrón*.

La partícula se introdujo para que las cargas de todas las parejas de electrones y antielectrones creados se equilibren y sumen cero. Así, ya no es preciso recurrir a $E=mc^2$ ni a ninguna otra ley. El fenómeno no viola ninguna ley: la carga total era cero antes de que el electrón y el antielectrón apareciesen, y sigue siendo cero después.

Eso es lo que Paul Dirac logró descubrir de un modo brillante.

Sería legítimo que te preguntaras por qué es tan importante ese descubrimiento.

Lo cierto es que, por aquel entonces, se desconocía la existencia de una partícula idéntica al electrón con carga opuesta. Nadie había visto jamás un antielectrón.

Hoy en día, los detectamos por todas partes.

El proceso mediante el cual un electrón y su antielectrón aparecen de la nada se llama *creación de pares* de partícula y antipartícula, y el proceso opuesto también existe: cuando un electrón choca contra un antielectrón, se *aniquilan* y desaparecen. ¡Puf! En un instante se desvanecen y su masa vuelve a transformarse en energía, en luz.

Los electrones y los antielectrones surgen del campo electromagnético y vuelven a fundirse en él cuando se aniquilan.

Como los electrones existen de forma independiente y surgieron del campo electromagnético durante la creación de un par de electrón y antielectrón, podemos deducir que los antielectrones también deberían tener una existencia independiente. La tienen, pero no se los puede encontrar en cualquier parte.

En 1928, Dirac se refirió al antielectrón como un «agujero en el mar», un mar que era lo que actualmente denominamos el campo cuántico

electromagnético, porque se correspondía a una carga que faltaba.

Cinco años más tarde, en 1933, se descubrió experimentalmente ese *agujero*, el antielectrón, y Dirac recibió el premio Nobel de física ese mismo año por su extraordinaria predicción. Su teoría de los campos engloba todos los campos que has encontrado por todas partes desde que empezaste a explorar el mundo de lo muy pequeño y, además, descubrió la antimateria.

El científico que *detectó* por primera vez los antielectrones de Dirac fue el físico estadounidense Carl D. Anderson, quien, en lugar de denominarlos *antielectrones*, los rebautizó como *positrones*, un nombre que todavía empleamos hoy en día. La labor detectivesca de Anderson le valió el premio Nobel tres años más tarde, en 1936.

Había nacido la antimateria.

Anteriormente he comentado que la mitad de la materia era antimateria. Sin embargo, si solo existieran los antielectrones, la antimateria no supondría la mitad de *todo*. ¿Qué hay de los antiquarks, la antiluz y los antigluones?

Bien, lo dicho de los electrones es aplicable a todas las partículas.

Todas cuentan con su propia antipartícula.

Los antiquarks existen, y también los antineutrinos y los antifotones. No obstante, algunas partículas, aquellas que no poseen carga, pueden jugar en ambos bandos y ser sus propias antipartículas. La luz es un buen ejemplo de ello: como los fotones y los antifotones no tienen carga, son idénticos.

Entonces, ¿por qué no vemos el resto de antipartículas a nuestro alrededor? ¿No deberían estar en todas partes?

La respuesta es que *están* ahí, a nuestro alrededor, a tu alrededor, pero no en grandes cantidades, porque cuando aparece una de ellas, solo vive durante un período de tiempo muy reducido. Recuerda que cualquier antipartícula que choca contra la partícula opuesta provoca la aniquilación de ambas y desaparece con un estallido de energía y luz que responde a $E=mc^2$.

Sin embargo, es posible que en algún otro lugar del universo exista todo un mundo compuesto de antimateria. Un antimundo, si quieres llamarlo así. Desconocemos si existen esos antimundos pero, si realmente es así y un día te encuentras cara a cara con alguien idéntico a ti en el espacio exterior, no le des la mano. Tú y tu antitú os convertiríais en una bomba y explotaríais de inmediato. Violentamente.^[46]

A pesar de todo, sí que hay cierta antimateria a nuestro alrededor. Incluso en tu interior, en este preciso momento.

Cada vez que se produce un caso de desintegración radiactiva se crea algo de antimateria, que termina aniquilándose con su contrapartida de materia y se transforma en un rayo de luz tan potente que suele atravesar tu cuerpo sin que ni tú ni nadie os deis cuenta.

Tus ojos no pueden ver estos rayos porque, como hemos dicho anteriormente, simplemente no han tenido la necesidad de evolucionar para desarrollar la capacidad de detectarlos. Sin embargo, la tecnología sí es capaz de ver lo que no perciben tus ojos, y algunos ingenieros muy espabilados han conseguido convertir ese descubrimiento en útiles herramientas de diagnóstico e investigación médicos. Las pruebas PET que se realizan en los hospitales son un ejemplo de ello. PET son las siglas en inglés de «tomografía por emisión de positrones». Los médicos te inyectan un líquido radiactivo *trazador* que emite un positrón al descomponerse. Los positrones se aniquilan con los electrones que encuentran a su paso y se transforman en poderosos rayos gamma que la máquina de PET detecta una vez abandonan tu cuerpo y que esta utiliza para reconstruir una imagen en 3D que muestra cómo funciona tu organismo. Es una idea bastante brillante.

De acuerdo.

Conoces los campos y sus vacíos.

Conoces su posible unificación.

Conoces la masa, las cargas y la antimateria.

Todos estos conocimientos indican que estás preparado para viajar más allá de lo que has visto en la primera parte, hacia el Big Bang e incluso más allá, hasta alcanzar los orígenes del espacio y el tiempo.

Si estuviera en tu lugar, respiraría hondo antes de pasar la página.

4

El muro detrás del muro

Probablemente llevas años dando por descontado, casi de forma inconsciente, que el universo es, en su mayor parte, un vacío fijo e invariable. Puede que, a diferencia de nuestros antepasados, hayas oído hablar del Big Bang, pero tal vez no te hayas parado nunca a pensar sobre lo que en realidad *significa* este término.

De hecho, somos en gran medida como los peces que nadan por el mar. La diferencia está en que, como ya sabes, no nadamos en un mar de agua, sino en los muchos mares que nuestro amigo Dirac cartografió; campos de los que somos una expresión mixta y bastante compleja.

Si lo piensas, te parecerá que tiene bastante sentido y todo te resultará mucho más fácil de entender; el tiempo, la masa, la velocidad y la distancia se encuentran enlazados dentro de estos campos.

El universo es enorme. Volúmenes increíblemente grandes se extienden entre dos estrellas, galaxias o clústeres de galaxias cualesquiera. Sin embargo, no hay vacíos entre ellas, solo campos que permiten que objetos distantes interactúen entre sí mediante el intercambio de partículas, también llamadas *portadoras de fuerza*, sin ni siquiera tocarse.

Los campos lo enlazan todo con todo.

La idea tiene un matiz casi tranquilizador.

A punto de rebobinar toda la historia de nuestro universo hasta el nacimiento del espacio y el tiempo, puede que te preguntes si, en el transcurso de la historia humana, los chamanes, los hombres santos y los colgados que gritaban, chillaban, cantaban, escribían, pintaban y bailaban asegurando durante eras que «todo es uno y uno es todo» tenían razón, al fin y al cabo.

Si interpretamos ese mensaje de un modo muy generoso, puede que sí.
No obstante, sin duda no sabían *por qué*.
Nuestro superordenador robotizado sí lo sabe y acaba de reaparecer.

El lanzador de pelotas de tenis de color amarillo brillante vuelve a estar delante de ti. Sigue sin tener rostro y te enfoca bastante inexpresivamente con el tubo disparador de partículas, pero ahora lo conoces mejor y ya no lo ves solo como un aparato mecánico.

Movido por la fortaleza y la confianza que te da todo el conocimiento que has recopilado hasta este momento, preparas tu cerebro para un nuevo esfuerzo: visualizar la historia completa de nuestro universo.

Una voz metálica surge del vacío:

—¿Preparado? —pregunta.

Sabes que te va a llevar al origen del espacio y el tiempo, pero el robot no te da tiempo a contestar y, un instante después, ambos estáis en el cielo. Encima de una casa. Tu casa.

El ordenador te ha traído de vuelta desde donde estabas a encima de tu ciudad.

Y ahora ambos os eleváis.

Cruzas las distintas capas de la atmósfera de nuestro planeta y alcanzas de nuevo el espacio, donde te acomodas sobre tu planeta natal y te colocas mirando hacia el espacio.

—Te voy a hacer volar con la mejor simulación jamás creada —anuncia el robot—. Aunque estoy programado para obedecer todas las leyes de la naturaleza que hemos desentrañado hasta ahora, incluso los superordenadores más potentes de la Tierra tienen problemas para alcanzar lo que estás a punto de ver.

—Entonces, ¡adelante! —exclamas, cada vez más emocionado por el viaje e impaciente por ir más allá de lo que puede verse y atravesar las capas entrelazadas de pasados que se amontonan alrededor de la Tierra.

Ya sabes que si intentases viajar a una estrella de un modo más normal, con el cuerpo, y no con la mente, tendrías que pasar algo de tiempo viajando y la estrella no sería como es *ahora* en el momento en el que la alcanzases. Habría evolucionado. Es como si quisieras viajar a Nueva York en este preciso momento. Tardarías unas horas en llegar y la Nueva York que encontrarías sería distinta a la que había en el momento de tu partida. Nada

estaría en el mismo sitio que antes: ni las personas, ni los coches, ni las nubes ni las gotas de lluvia.

Durante el trayecto hacia una estrella lejana de una galaxia remota, la diferencia sería todavía mayor. Para cuando llegases a tu destino, el universo se habría expandido. La radiación de fondo de microondas y la temperatura media de nuestro universo serían más fríos y la última superficie de dispersión estaría todavía más alejada. Un viaje convencional, por muy rápido que fuese, no te permitiría en ningún caso regresar al pasado.

Entonces, ¿cómo es posible que la simulación informática te impulse hacia el pasado y, más aún, hacia uno tan remoto?

La respuesta se te ocurre de inmediato: para encontrarte en la infancia del universo y ver cómo ocurre, no deberías moverte. Solo tienes que dejar que el tiempo vaya hacia atrás y eso es justo lo que empieza a suceder.

Sin moverte, inicias un nuevo trayecto, viajando hacia atrás en el tiempo, a través de toda la historia de nuestro universo, hasta llegar al Big Bang y más allá, desde la perspectiva del lugar en el que te encuentras.

Mostrando una sensibilidad que no te esperabas de él, el robot que encarna al ordenador tiene la delicadeza de desaparecer para que su presencia no te tape las vistas.

En un abrir y cerrar de ojos, te encuentras a 7 millones de años en el pasado.

La última superficie de dispersión, la superficie que delimita el universo visible desde la Tierra, está ligeramente más cerca y posee una radiación de fondo de microondas un poco más caliente. Sin embargo, 7 millones de años no son gran cosa en comparación con los 13 800 millones de años de historia de nuestro universo, y el cielo no presenta diferencias particulares con el de hace un momento. Sin embargo, la Tierra que tienes bajo los pies sí que ha cambiado. No hay pueblos, ni ciudades ni la luz parpadeante de las farolas. Los primeros humanos apenas empiezan a distinguirse de los grandes primates. Tus antepasados lejanos son bestias cazadoras bastante peludas. No hay duda de que la humanidad ha recorrido un largo trecho desde entonces...

Otro parpadeo y estás 65 millones de años en el pasado.

Los dinosaurios acaban de ser exterminados por la combinación de violentas erupciones volcánicas y una colisión catastrófica con un asteroide de 10 kilómetros de ancho, un fenómeno al que solo han sobrevivido unos

mamíferos pequeños, algunos de los cuales, tras muchas evoluciones sucesivas, se convertirán en los antepasados peludos que acabas de ver y, más tarde, en nosotros.

Un nuevo parpadeo y has viajado más de 4000 millones de años hacia el pasado.

La Tierra acaba de impactar contra el planeta del tamaño de Marte que le arrancó un pedazo y creó la Luna. La radiación de fondo de microondas empieza sin lugar a dudas a calentarse, y la última superficie de dispersión parece mucho más cercana que antes. Desde tu perspectiva, todo el universo visible supone menos del 70 por ciento de lo que llegará a ser en el año 2016.

Retrocedes un par de miles de millones de años más.

El universo visible no tiene ni la mitad del tamaño que en tu punto de partida. La Tierra todavía no existe. En su lugar, hay estrellas que mueren justo delante de ti, unas explosiones extraordinarias que dispersan la materia de la que estaban formadas por el espacio exterior. En cuestión de unos pocos cientos de millones de años, todo ese polvo y esos restos se aglomerarán formando nubes enormes, y la gravedad propiciará la formación de, como mínimo, una nueva estrella, el Sol, y sus planetas.

Otro parpadeo y te encuentras 5000 millones de años antes del nacimiento de la Tierra, y 9500 millones de años antes de *tu* nacimiento.

El universo visible tiene menos del 25 por ciento del tamaño que tendrá en 2016. La última superficie de dispersión está mucho más cerca de ti y, entre ese muro y tú, se forman galaxias alrededor de algunos gigantes agujeros negros que, a veces, tropiezan en colisiones de una magnitud inimaginable.

Un parpadeo más y estás 13 700 millones de años en el pasado.

Sigues en el lugar que ocupará la Tierra algún día, pero el universo visible, el universo que te rodea, ahora solo cuenta con el 0,5 por ciento del tamaño que tenía en el punto de partida de tu viaje. Estás en la Edad Oscura de nuestro universo.

La Edad Oscura por la que viajaste en la primera parte del libro era fría porque, entonces, flotabas a través del aspecto que tiene vista desde la Tierra en 2016, tras más de 13 700 millones de años de expansión.

Sin embargo, hace 13 700 millones de años, las cosas no eran ni frías ni oscuras. Y te encuentras justo en ese momento.

Todavía no se han encendido las primeras estrellas, así que ninguna de la materia que puedes ver se ha creado mediante la fusión nuclear en el núcleo de las estrellas. Así pues, estás rodeado por los átomos más pequeños que existen: hidrógeno, en su mayor parte, y helio. Además, la radiación que brilla por todas partes, la radiación de fondo de microondas, tampoco es una radiación de microondas. La ves con tus propios ojos. Es la luz que llenaba nuestro universo en su origen, una luz que brilla con fuerza por todas partes, una luz que tardará mucho, hasta varios miles de millones de años de expansión de nuestro universo, en convertirse en una radiación de microondas.

Un nuevo parpadeo y has retrocedido otros 100 millones de años, hasta hace 13 800 millones de años. La última superficie de dispersión, la superficie que marca el fin del universo visible, se encuentra a un minuto luz de ti, lo que supone que tu universo visible tan solo tiene un minuto luz de profundidad, menos de una octava parte de la distancia que separa a la Tierra del Sol.

Todo el universo es transparente desde hace apenas sesenta segundos.

Y hace calor.

3000 °C en todas partes.

Todavía estás en la Edad Oscura, pero todo lo que te rodea es tan luminoso que te preguntas si esa denominación es adecuada.

Te detienes aquí.

En un instante, el ordenador rebobinará el tiempo todavía un poco más, aunque lo hará a un ritmo menor, y te adentrarás en un lugar extraño, literalmente invisible. Un minuto más hacia el pasado y habrás empezado lo que parece ser el viaje definitivo...

La última superficie de dispersión está justo delante de ti.

Respiras hondo, listo para atravesarla y viajar más allá del muro para alcanzar lo invisible.

El tiempo retrocede...

Y ya la has atravesado.

Has penetrado en una parte del pasado de nuestro universo que nunca estará iluminada.

De hecho, ya no ves nada.

Aquí no se propaga la luz. Sencillamente, hay demasiada energía alrededor.

Sabes lo que tienes que hacer.

Inmediatamente, pasas a tu modo yogui y, muy sorprendido, constatas que el universo que hay más allá de la superficie que acabas de atravesar es *grande*.

Y antiguo.

Por lo menos tiene 380 000 años de antigüedad.

Tu viaje no ha terminado ni mucho menos.

Te concentras una vez más en lo que te rodea, en lo que está sucediendo en este preciso momento tras el muro que marca el fin del universo visible.

A tu alrededor, la temperatura es de 5000 °C. Todos los electrones que un día se enlazarán con núcleos atómicos sueltos para convertirse en hidrógeno y helio flotan aislados. Los fotones rebotan contra ellos y los excitan antes de ser repelidos y rebotar contra otro electrón. El campo electromagnético está tan repleto de energía que todas sus partículas fundamentales se transforman las unas en las otras casi instantáneamente.

Otro parpadeo más y has retrocedido decenas de miles de años desde el momento en el que el universo pasó a ser transparente.

Estás rodeado de un caldo denso de partículas, una mezcla de todas las excitaciones de los campos cuánticos, sus partículas elementales y sus portadoras de fuerza. Todas chocan entre sí y no consiguen viajar. Hay demasiada energía. Aparecen. Colisionan. Desaparecen. A medida que el tiempo sigue rebobinando y el universo sigue encogiéndose, la densidad de la energía aumenta y todo es cada vez más violento.

Pese a ello, intentas no desconcertarte y te concentras en tu viaje hacia atrás en el tiempo. Eres una mente pura, en modo yogui, que viaja por lo que parece ser una simulación muy realista. El universo sigue encogiéndose y su tejido, el espacio-tiempo, se curva hasta extremos prodigiosos. Las ondas gravitatorias están en todas partes. Nada que conozcas o seas capaz de imaginar podría resistir un poder tan aplastante y colosal.

Por un instante, te preguntas por qué no has oído hablar más de la gravedad en esta fase, pero no tienes tiempo de pensar en ello. Has vuelto atrás en el tiempo unas decenas de miles de años más y ahora te rodea un infierno inimaginable. Tu corazón virtual se acelera mientras la temperatura,

la presión y los efectos de la gravedad en lo que ves aumentan hasta niveles inconcebibles.

Te encuentras 380 000 años antes de que el universo se hiciera transparente. Si te pudiéramos ver hoy en día por un telescopio desde la Tierra capaz de enfocar lo ocurrido hace más de 13 800 millones de años, estarías 380 000 años más allá del muro que marca los límites del universo visible.

Desde tu punto de vista, estás a unos tres minutos de lo que podríamos llamar el nacimiento del espacio y el tiempo.

El tiempo sigue retrocediendo y hasta los núcleos atómicos se rompen, liberando a los quarks de sus jaulas de protones y neutrones y permitiendo que se muevan libremente. La fuerza nuclear fuerte se ve abrumada por la energía ambiental. Los protones y los neutrones, las construcciones más sólidas que existen, emprenden una danza frenética en la cual los primeros, avasallados y golpeados por portadoras de fuerza hechas de quarks, se convierten en neutrones y desaparecen del universo.

¿La temperatura?

100 000 millones de grados.

En todas partes.

Pero no te detienes.

Sigues adelante. Mientras el tiempo rebobina segundo a segundo, todas las partículas de luz que te rodean se convierten en pares de materia y antimateria. En todas partes. Y parece haber la misma cantidad de la última que de la primera. Sumido en una especie de trance, te preguntas cómo es posible que uno de esos pares acabe siendo predominante. Algo especial debió de ocurrir más o menos en ese instante para que el equilibrio se rompiera, un misterio que podríamos llegar a resolver incluso este año, o el próximo, a medida que el acelerador de partículas GCH (que se volvió a poner en marcha en el CERN en junio de 2015) vaya desvelando sus nuevos hallazgos.

Te gustaría quedarte un poco más para descubrirlo por ti mismo y pisarle la primicia al CERN, pero no estás al mando de este viaje y te encuentras navegando por un universo repleto de una energía tan formidable que todo se sacude de manera extrema, la gravedad se curva y se aplasta y los campos se excitan hasta un punto que escapa a la cordura.

La gravedad, mediante la curvatura del espacio y el tiempo, no impone el peso de una estrella para someter a todos los campos que te rodean, sino que la energía de todo el universo se encuentra concentrada en una esfera de 100

años luz de diámetro.^[47] Hoy en día, una esfera de ese tamaño que tuviera por centro la Tierra, no contendría más de 5000 estrellas. En ese momento, contenía la energía necesaria para construir cientos de miles de millones de galaxias, cada una de las cuales contiene cientos de miles de millones de estrellas. Por no hablar del polvo.

Sin embargo, aunque te gustaría poder contemplarlo todo, sigues volando contra el curso del tiempo.

Te encuentras a una millonésima de segundo de tu destino definitivo.

La temperatura ha alcanzado los 100 000 billones de grados.

Con tanta energía en el ambiente, ni siquiera los gluones, los carceleros de quarks, son capaces de mantener confinados a sus prisioneros. Los neutrones se desintegran y los quarks, libres, comienzan a interactuar con sus antiquarks y se convierten en energía pura.

Al mirar a tu alrededor, te das cuenta de que la diferencia entre la materia, la luz y la energía ahora es completamente irrelevante.

Los campos que habían formado entidades independientes desde la época de la Tierra hasta este momento, campos que en la Tierra describían todo lo concebible a través de distintas fuerzas, se están fusionando unos con otros, como era de esperar. El campo electrodébil se encuentra activo. Mientras algunas de las viejas partículas que estás acostumbrado a ver desaparecen, otras nuevas, entidades fundamentales que pertenecen al campo electrodébil, surgen por todas partes. El campo de Higgs desaparece, y con él se desintegran las partículas de Higgs que tanto tiempo permanecieron ocultas al conocimiento humano.

Las partículas que estás viendo ahora son los bosones W y Z que hemos encontrado anteriormente, los portadores de fuerza del campo electrodébil.

Hay tanta energía a tu alrededor que estas partículas, tan difíciles de crear en la Tierra, están por todas partes.

La temperatura del universo es de 100 trillones de grados y las leyes de la naturaleza empiezan a diferir notablemente de las que has experimentado a lo largo de toda tu vida.

Los quarks y los antiquarks desaparecen.

El campo de fondo engulle a los gluones.

Una milésima parte de una cienmillonésima parte de la cienmillonésima parte de la cienmillonésima parte de un segundo después de lo que se presume que fue el origen del espacio y el tiempo, un acontecimiento que podríamos

llamar el *Comienzo*, lo que un día se convertirá en todo nuestro universo visible se reduce a una esfera de 10 metros de diámetro que no deja de encogerse.

Todo lo que contiene se encuentra a la fantástica temperatura de 1000 trillones de grados y, a medida que se calienta todavía más, todos los campos que componen la materia de la que estamos hechos se unen hasta convertirse en el gran campo unificado.

Solo la gravedad se mantiene fuera de esta unificación de las fuerzas.

Estás tan cerca del Comienzo que empiezas a creer que ya no puede suceder gran cosa.

De hecho, acabas de llegar a lo que se ha denominado el Big Bang: el momento en el que la energía almacenada en el gran campo unificado empezó a convertirse en partículas.

Asombrado, compruebas que, aunque la física experimental no ha llegado hasta ese punto, el ordenador no parece dispuesto a detenerse, aunque solo sea para mostrarte que la historia del universo no comienza ahí. De hecho, observas sorprendido que, mientras el tiempo sigue retrocediendo, la materia y la energía de todo el universo se desvanecen de pronto y, a diferencia de lo que esperabas, todo se enfría tremendamente en el momento en el que toda la energía disponible se convierte en otro campo, uno que no habías visto antes y que está lleno de sus propias partículas.

Se llama *campo inflatón*.

Se considera que es el responsable de la expansión inicial de nuestro universo.

Por loco que te parezca, todo vuelve a acelerarse de nuevo y, para tu gran desconcierto, el universo se colapsa sobre sí mismo a un ritmo inimaginable y te arrastra con él.

En menos tiempo del que tardaría la luz en cruzar el núcleo de un átomo en tu cocina, todo el universo se encoge de un tamaño de unos diez metros de diámetro hasta adquirir unas dimensiones cientos de miles de millones de veces más pequeñas que las de un protón.

Los científicos denominan a ese período la *inflación cósmica*.^[48] Lo acabas de recorrer marcha atrás. Más allá de este punto, no existe la materia ni nada.

Todos los campos conocidos han desaparecido.

Las leyes de la naturaleza no se parecen en nada a las que has experimentado a lo largo de tu vida ni a las que has observado durante tu viaje hasta este punto.

Se cree que, en algún lugar cercano al que te encuentras, las tres fuerzas o campos que acabarán gobernando toda la materia y la antimateria del universo en nuestros días se fusionaron con la gravedad.

Te gustaría continuar con tu viaje, seguir rebobinando y alejarte cada vez más del Big Bang hasta llegar al nacimiento mismo de nuestro universo, pero algo va mal.

Las nociones del espacio y el tiempo que habías usado hasta ahora ya no son aplicables.

La curvatura gravitatoria del espacio-tiempo es demasiado fuerte. Los efectos cuánticos son demasiado intensos.

Sin tiempo, espacio ni espacio-tiempo, no puedes viajar más. En estas circunstancias, viajar no tiene sentido.

No has alcanzado el Comienzo, y ni siquiera se te ocurre ningún modo de alcanzarlo.

Es muy frustrante.

De repente, te gustaría poder verlo todo desde el exterior porque, hasta ahora, siempre has permanecido dentro del universo. Sin embargo, el mismo concepto de exterior tampoco parece tener mucho sentido en estas circunstancias.

Lo que has alcanzado es la superficie de otro muro, un muro de naturaleza distinta a la última superficie de dispersión que delimita lo que puede verse desde la Tierra. Se trata de un muro impenetrable no para la luz, sino para el conocimiento actual.

Más allá se extiende el reino de la *gravedad cuántica*, en el que todos los campos de la naturaleza podrían fundirse en uno en un sentido cuántico.

En ese lugar, nuestro universo se convierte en un misterio en el que se entrelazan las ciencias del siglo XXI, las creencias y la filosofía. En cierto modo, es el lugar en el que acaba nuestro conocimiento y se ve reemplazado por la pura investigación teórica. No se pueden usar telescopios ópticos para ir más allá de la última superficie de dispersión, pero los científicos han construido aceleradores de partículas que les han permitido alcanzar las temperaturas y las presiones que esperaban encontrar más allá de ese punto, y la idea ha funcionado. Los científicos han descubierto nuevas leyes y han logrado retroceder deshaciendo el curso del tiempo, aunque solo sea indirectamente. Los detectores de ondas gravitatorias, sin embargo, ahora nos permiten percibir las ondulaciones que se propagan por el propio

espacio-tiempo. Hablamos de ondas para las que los muros no significan nada: por eso, la ilusionante posibilidad de que un día se detecten señales procedentes del remoto pasado por el que acabas de transitar y en el que tuvieron que emitirse muchas ondas primordiales de este tipo ya no es mera fantasía.

Sin embargo, viajar más allá del muro de la gravedad cuántica, a la llamada *era de Planck*, es un objetivo muy distinto. Nadie está seguro ni siquiera de cómo hay que pensar en lo que hay más allá. Por aquel entonces, todo nuestro universo visible era tan minúsculo que para inspeccionarlo mentalmente sería necesaria una teoría de lo inmensamente grande miniaturizado, una teoría en la que las leyes cuánticas, con sus saltos cuánticos y todo, se aplicaran al propio universo. Serían necesarias la gravedad y los efectos cuánticos. Es imprescindible la gravedad cuántica y más cosas. Y no disponemos de todo eso. No tenemos ese marco de trabajo. Por ese motivo, no puedes proseguir tu viaje. De hecho, ni siquiera te está permitido inferir lo que hay detrás de ese muro de Planck, ni en el espacio ni en el tiempo, porque esas dos ideas no tienen ningún sentido en ese contexto. Cuando los científicos afirman que nuestro universo tiene 13 800 millones de años, se refieren a que han pasado 13 800 millones de años desde que el espacio y el tiempo a los que estás acostumbrado cobraron sentido, y ese momento tuvo lugar 380 000 años antes de que la radiación de fondo de microondas llenase el espacio exterior. Y ese momento ocurrió una millonésima parte de la cienmillonésima parte de la cienmillonésima parte de la cienmillonésima parte de un segundo antes del Big Bang. Al final, los científicos pueden decir con certeza que ese es el tiempo transcurrido desde el origen del espacio y el tiempo. Sin embargo, eso no significa que ese fuera el comienzo de nuestro universo. Tampoco que sea el único universo que existe. Tampoco que sea el único que ha existido jamás.



Vuelves a encontrarte en tu sala de estar, sentado de nuevo en tu viejo sofá hecho polvo, y te asalta una sensación tan profunda que te agarras al brazo del asiento.

Has viajado por el espacio y el tiempo. Has visto galaxias. Has visto estrellas. Has visto campos. Has visto cómo funciona la gravedad y cómo su efecto sobre la forma y el destino del espacio-tiempo depende del contenido del universo.

Sí. Has hecho todo eso.

Y ahora empieza a ocurrirte algo asombroso, como si estuvieras a punto de realizar un descubrimiento revolucionario...

Los pensamientos se amontonan en tu cabeza. Vuelves a sentirte como un niño, como un crío que de repente se da cuenta de que el mundo es algo que puede llegar a entenderse, algo que, de algún modo y hasta cierto punto, *ya ha sido comprendido*, y el ordenador te lo ha enseñado todo...

La teoría de la relatividad general de Einstein te enseñó que podrías desentrañar toda la historia del universo con solo saber lo que contiene.

Ya sabes que el contenido del universo consiste en campos cuánticos que se mueven, evolucionan e interactúan, que hoy son tres pero que un día, hace mucho, mucho tiempo, fueron *uno*.

Esos campos son los padres y las madres de todas las partículas y antipartículas de nuestro universo, y constituyen el motivo de que todas las partículas elementales sean exactamente iguales, ya sea aquí, dentro de tu cuerpo o en cualquier otra galaxia, presente o pasada.

Y todo esto solo puede significar una cosa.

Solo puede significar que, potencialmente, te has convertido en un dios.

Sí.

Un dios.

Conoces la gravedad.

Conoces lo que hay dentro del universo.

Combina ambas cosas y lo sabes todo.

La historia del universo.

Su pasado.

Su presente.

Su futuro.

Eres un dios, casi por definición.

La cara se te ilumina, coges el móvil de inmediato y marcas el número de la única persona en la que puedes pensar en este momento.

—¿Sí? ¿Quién es?

La voz del otro lado de la línea suena desconfiada. Es tu tía abuela.

—¡Soy yo!

—¡Oh! Hola, cariño. ¿Cómo estás? ¿Te encuentras mejor?

—¿Mejor? ¡Estoy estupendamente! —exclamas.

—Me alegro. ¿Ha pasado algo?

—He estado viajando, y aprendiendo cosas del universo y... Bueno, te parecerá una tontería, pero puedo crear y desarrollar un universo como el nuestro solo con usar la imaginación. Me siento como un dios.

Tu tía abuela guarda silencio por un instante.

—Ya —contesta.

—¿Qué pasa? —preguntas, extrañado porque resulta evidente que ella no comparte tu entusiasmo.

—Nada. Nada. Es que eso ya lo había escuchado.

—¿En serio?

—A la gente le gusta jugar a ser un dios, ¿no? ¿Te acuerdas de mis queridas amigas Kati y Gabi?

—La verdad es que no pero, oye, lo que...

—Déjame acabar, querido. El fin de semana pasado, Kati, Gabi y yo fuimos al campo de tiro con arco. A Kati y a Gabi les gusta bastante disparar flechas, y me enseñaron una cosa: si tienes un conocimiento rudimentario de cómo funciona nuestro mundo, puedes deducir a dónde irá a parar una flecha partiendo de cómo y desde dónde la disparas. ¿No te parece fascinante?

—Claro, tía, eso es balística, es una ley de Newton.

—¿Ah, sí? Está bien saberlo. ¿La puedes aplicar a todo el universo?

—¿Qué?

—¿Tienes algún punto de partida o algo con lo que comenzar? ¿Tienes algo a lo que poder aplicar esa balística tuya o cualquiera de las leyes de la naturaleza que parece que has descubierto?

—Yo... ¿Te refieres a alguna especie de condición inicial?

—No lo sé. ¿Quieres que les diga a Kati y a Gabi que te llamen para que podáis hablar del tema? Se les dan muy bien estas cosas.

—¡No, no, no! No es necesario.

—De acuerdo. ¿Me volverás a llamar cuando hayas encontrado esa condición inicial?

—Yo... Vale, te llamaré.

—Gracias por llamar, cielo. Eres un encanto. Adiós.

Y tu tía abuela cuelga.

Mientras miras el teléfono con desconcierto, permíteme un comentario: como seguramente debes haber deducido por ti mismo, ella tiene razón. Para

entender algo sobre el universo, necesitas dos datos. El primero es una ley o un conjunto de leyes. El segundo es una condición inicial.

Todas las leyes del mundo no bastarían para poder aplicar al universo en su conjunto las ideas que has tenido hasta ahora y para ser capaz de conocer su destino partiendo de cero.

Todavía te faltaría un estado inicial meridianamente claro, una condición a la cual poder aplicar las leyes de la evolución. Y no dispones de ese dato. Además, para empeorar las cosas, ¿cómo puedes estar seguro de que las leyes de la gravedad y de los campos cuánticos tal como los conoces eran válidas siquiera en el origen de nuestro universo?

Suspiras, te recuestas en el sofá y coges la taza de café con la sensación de que todavía te faltan algunos datos importantes...

5

Los pasados perdidos están por todas partes

Espacio.

Tiempo.

Espacio-tiempo.

¿Qué falta por saber de ellos que no hayas visto hasta ahora?

Partículas. Portadoras de fuerza.

Campos.

La gravedad y sus ondas.

¿No has experimentado ya todo lo que se puede saber?

¿Por qué estás tan confundido?

Abres los ojos.

Sorprendido, compruebas que ya no estás en casa, sino sentado en el estrecho asiento de un avión que te resulta extrañamente familiar.

El asiento 13 A, para ser exactos.

Los otros pasajeros hacen cola en el pasillo, a punto de desembarcar.

Miras por la ventanilla, desconcertado, pero no hay duda: vuelves a estar dentro del avión que viaja por el tiempo. Y acaba de aterrizar en el año 2416. Te cuesta pensar con claridad, pero te levantas, sigues a los otros pasajeros fuera del avión y te encuentras paseando por unos pasillos de cristal largos, aparentemente interminables, con vistas al mar.

¿Por qué vuelves a estar aquí?

Hace un instante estabas en casa. Acababas de llamar a tu tía abuela después de haber viajado a través del universo conocido.

Recuerdas que, con la Tierra como centro y a su alrededor, se extiende una esfera de 13 800 millones de años luz de radio que contiene todos los

pasados que la humanidad será capaz de observar usando la luz. Anteriormente, otra capa de realidad existió durante 380 000 años. ¿Y qué había antes? Nadie lo sabe.

Mientras caminas por más pasillos, el radiante Sol de 2416 ilumina la Tierra del futuro con unos rayos que ya tienen 8,3 minutos de vida. De pronto, te asalta una profunda sensación de soledad.

¿Qué sentido tiene todo esto?

¿Cómo es posible que nuestro universo sea tan enorme y que nosotros seamos tan pequeños dentro de él? ¿Estamos condenados a estar perdidos en el espacio y el tiempo, y a torturarnos por nuestro propio conocimiento de este hecho? ¿O quizá los humanos nos encontramos al principio de un largo viaje tecnológico que un día nos acercará a mundos lejanos? ¿Es lo que está ocurriendo? ¿Estás a punto de ver uno de los muchos futuros que podría alcanzar nuestro planeta, uno en el que no existe diferencia alguna entre lo lejano y lo cercano, y los pasados y los futuros no son más que destinos de viaje entre los cuales pueden escoger nuestros descendientes?

Los viajes en el tiempo han sido una fantasía humana desde hace siglos, pero nunca has conocido a nadie que hubiese realizado un viaje de ese tipo.

Stephen Hawking organizó una fiesta para viajeros temporales programada para el mediodía del 28 de junio de 2009. Para asegurarse de que solo acudiesen viajeros en el tiempo, no mandó las invitaciones hasta después de la fiesta. No se presentó nadie.

Entonces, ¿qué se supone que debe mostrarte este nuevo viaje a *ti*, un organismo insignificante perdido en la inmensidad del espacio y el tiempo?

El pasillo de cristal por el que caminabas traza una curva y desemboca en el vestíbulo de un enorme aeropuerto, aunque quizá deberíamos llamarlo un tiempo puerto. Cientos de personas hacen cola para cruzar una especie de control aduanero. El recinto está muy iluminado. La luz penetra en el edificio por unos ventanales gigantescos con vistas a unos rascacielos que se elevan en medio del mar. Te colocas en una de las colas, te mezclas con los demás pasajeros y, de repente, temes que lo que estás experimentando en este momento no sea un sueño, sino algo real, y que lo que en realidad has soñado era que volvías a casa. Comprensiblemente, la idea te angustia.

Si esto es real, ¿qué le ha ocurrido a tu pasado?

Si de verdad has viajado a 400 años desde el momento del despegue, ¿el pasado que has dejado atrás sigue en algún lugar? Si lo deseas, ¿puedes regresar a tu vida pasada o ha desaparecido para siempre? ¿Los amigos que te

enviaron a casa desde la isla murieron hace mucho tiempo? Te das cuenta de que tiene que ser cierto. Has viajado desde su tiempo hasta ahora.

Puede que cueste un poco entender la interacción entre el tiempo y el espacio, pero te resulta difícil imaginar que la misma persona pueda vivir varias vidas simultáneamente, en el mismo universo, y ser consciente de todas ellas, aunque los campos parecen permitir que eso suceda con las partículas a las que nadie observa.

Lo que es posible para las partículas aisladas parece no serlo para las agrupaciones de cientos de miles de millones, como las que forman el cuerpo humano. Mientras reflexionas sobre ese hecho con una cierta tristeza, cobras conciencia casi físicamente del abismo insalvable que te separa de todas las personas a las que amabas y la tristeza te inunda el corazón.

Sin embargo, lo que has visto hasta ahora te aporta un cierto consuelo. Las vidas pasadas de tus seres queridos se han convertido en una sucesión de imágenes en movimiento a través del espacio y el tiempo. Toda la luz y las otras partículas sin masa que en su día rebotaron contra sus cuerpos o interactuaron con ellos aunque fuera de un modo casi insignificante, crearon un recuerdo de su existencia, una imagen, una cáscara que se extiende a la velocidad de la luz desde la Tierra hasta lugares remotos y desconocidos, convertidas en pequeñas ondas en campos invisibles pero ubicuos. Como has viajado 400 años hacia el futuro, actualmente, la memoria visible de sus vidas baña planetas y estrellas situados a 400 años luz de la Tierra, y su imagen seguirá alejándose y extendiéndose, quizá captada en algunos puntos por algún aparato alienígena que capte la luz, hasta el fin de nuestro universo.

¿Y qué pasa con la materia de la que estaban hechos? ¿Qué ocurre con todos esos átomos, nacidos hace cientos de miles de millones de años en el núcleo de estrellas desaparecidas hace mucho, que se unieron para formar los cuerpos de tus amigos y tus seres queridos? Sus billones de billones de partículas se encuentran ahora dispersas por el mundo. Puede que incluso te encuentres cerca de una de ellas en este preciso momento. De todas formas, todas las partículas son la misma.

Pensándolo bien, puede que no seamos tan pequeños en el esquema general de las cosas. Nuestra imagen está aquí y se quedará para siempre, y saber que el recuerdo de nuestras vidas viajará para siempre por las estrellas ofrece consuelo.

El tiempo, el espacio y los campos hacen que todos pertenezcamos a una realidad extraordinariamente grande.

Extiendes los brazos para sentir los campos de los que estás hecho, elevas los brazos para ver cómo trepan por la pendiente invisible que la Tierra crea en el espacio-tiempo que la rodea y empiezas a entender hasta qué punto podrían estar realmente interconectados todos los pasados, los presentes y los futuros.

—¿Se encuentra bien, señor? —te pregunta de pronto una mujer uniformada.

Te despiertas de pronto de la ensoñación, un poco avergonzado por no haber visto cómo se acercaba la mujer, y apenas atinas a balbucear que estás bien, pero hay cosas en la vida que nunca cambian. Incluso en el año 2416, todo el mundo se siente culpable de algo cuando habla con un agente de aduanas.

—¿De qué época llega, señor? —pregunta la mujer.

—De principios del siglo XXI —respondes, intentando que parezca que estás muy acostumbrado a hacer este tipo de viajes.

—Sígame, por favor —te indica en un tono que deja claro que es una orden, no una invitación.

Casi todos los pasajeros que te rodean te lanzan miradas de reproche al ver que estás en problemas. Te apartas de la cola y sigues a la agente por el vestíbulo.

—¿Hay algún problema? —preguntas, mientras se abre una puerta corredera frente a la oficina de aduanas.

—Entre aquí, por favor —te pide por toda respuesta.

Dentro, hay otro agente (con cara de pocos amigos) sentado tras un gran escritorio. A su espalda, por encima de su cabeza, un cartel grande reza: ATENCIÓN POR ESTRÉS TRAS EL VIAJE TEMPORAL — CUALQUIER ATAQUE CONTRA EL PERSONAL SERÁ SANCIONADO DE INMEDIATO.

El agente te indica con un gesto que te sientes delante de él. Es evidente que no le hace ninguna gracia tener que ocuparse de otro paciente.

Miras a tu alrededor, preocupado, y empiezas a sudar. La habitación está vacía. En su interior solo están el escritorio, el agente con malas pulgas, el cartel y... un tubo que ya conoces, que asoma por uno de los lados del escritorio. Todas tus preocupaciones desaparecen al reconocer a tu amigo lanzador de partículas.

Te preguntas si se trata de otra simulación. Si es así, ha conseguido que aceptes un poco mejor el lugar que ocupas en el universo y te ha ayudado a reflexionar sobre la naturaleza de la vida y la muerte.

La cruzada para entender la realidad es, en última instancia, un viaje personal, y ni el superordenador ni yo deberíamos imponerte nuestros puntos de vista. Está bien que tengas tus propias ideas. Sin embargo, debo advertirte de que, hasta ahora, apenas has echado una ojeada a las dos teorías que manejan los científicos para describir nuestro universo: la teoría de los campos cuánticos y la teoría de la gravedad de Einstein.^[49] Está claro que ambas parecen coherentes y elegantes, pero deberías saber que muchos de los conceptos que contemplan presentan problemas.

De hecho, para ser completamente sincero contigo, te diré que *nadie* entiende realmente el universo todavía. Puede que esa sea una de las razones por las que todos nos alegramos cuando se descubren cosas que alguien predijo con anterioridad, como el bosón de Higgs o las ondas gravitatorias.

Incluso la realidad que te rodea ahora mismo, en tu sofá o en una playa tropical, está envuelta en misterio. No obstante, una cosa es segura. Todos los misterios importantes, tanto los que te rodean como los que se producen en tu interior y los lejanos que encontramos más allá del Big Bang, acaban llevando a la unificación de los campos cuánticos con una teoría cuántica de la gravedad.

Además, aunque todavía no conocemos una teoría del todo, al menos hemos descubierto una de las propiedades de la gravedad cuántica. Podríamos decir que tenemos una pista. Una pista que supone un indicio seductor de lo que puede haber tras el muro de Planck.

Esas son las buenas noticias.

Las malas son que solo hay una ventana conocida con vistas a esta pista, la cual sugiere que un día tal vez sea posible viajar, aunque solo sea con la mente, más allá del origen del espacio-tiempo. Y ese es el motivo por el que el robot ha ido a recogerte al tiempo puerto. Mientras la habitación en la que estás desaparece para volver a mostrarte el paisaje oscuro del espacio profundo, empiezas a preguntarte cuál será tu nuevo destino, pero no tienes tiempo de completar el pensamiento.

—Te voy a llevar a un agujero negro —anuncia la máquina.

Como ya viajaste a uno al principio de tus aventuras cósmicas, quizá te preguntes qué te perdiste durante esa primera visita.

Por una vez, la respuesta es bastante sencilla.

No te acercaste lo suficiente.

Sexta parte
Misterios inesperados

1

El universo

Si lo piensas, el universo al que pertenecemos tiene algo muy peculiar. Su nombre, *universo*, viene de *uni* («uno») y *versus* («convertido»), así que significa esencialmente «convertido en uno», lo cual señala desde el principio un problema muy concreto que genera.

Cualquier experimento realizado *dentro* de nuestro universo puede repetirse numerosas veces. ¿Quieres comprobar la ley de la gravedad de Newton en la Tierra? Dispara una flecha. ¿No tienes claro si lo has hecho correctamente? Dispara otra. Y así, una y otra vez. Con un poco de paciencia verás que, sabiendo su posición inicial, ángulo y velocidad, eres capaz de predecir dónde aterrizará la flecha. En ello se basa la balística. Y funciona. De no ser así, hace tiempo que habríamos abandonado los arcos y las flechas, e Inglaterra sería una provincia francesa.

Así que con una ley y unas condiciones iniciales puedes, como de hecho se ha demostrado, predecir dónde aterrizará la flecha y defender así a todo un país.

Pero aplicarlo al universo en su conjunto es un poco más difícil.

Incluso aunque tuvieras una ley que lo explicase todo y que fuera válida en cualquier lugar, ¿cómo lograrías que funcionase? ¿Cómo podrías usarla para predecir de qué manera el universo en el que vivimos llegó a ser como es actualmente? Para eso, necesitas una condición inicial. Y no la tienes.

Pero se puede intentar ser más listo que la naturaleza. Empezando hoy, y yendo hacia atrás en el tiempo, tal vez se pueda llegar a un suceso inicial que tuvo lugar hace mucho tiempo. Y eso es lo que han hecho los científicos. Eso es lo que hiciste *tú* en la quinta parte del libro. Y ellos y tú llegasteis al muro de Planck. Lo cual no es en absoluto un mal comienzo, ya que corresponde al momento en el que el espacio y el tiempo se convirtieron en lo que son hoy.

Pero eso no quita el frustrante hecho de que, a diferencia de tu experimento con las flechas, solo tienes un universo con el que jugar. No puedes intentar crear otro con diferentes condiciones iniciales y ver qué es lo que sale. Al menos, no en un laboratorio.

Pero ¿qué pasaría si el nuestro no fuera el único universo? ¿Y si fuéramos parte de otro tipo de multiverso, diferente del que viste al final de la segunda parte? ¿Sería posible que nuestra realidad fuera solo una entre una infinidad de posibles realidades, todas con comienzos diferentes, puede que incluso con leyes distintas, y por tanto con presentes muy diversos?

La idea de ese multiverso es una cuestión que pronto tendrás que afrontar, ya que forma parte de la respuesta que la física teórica moderna ha dado a los misterios que investigarás en esta parte.

De hecho, esta sección del libro va a ser un poco diferente de las anteriores. En la primera y la segunda parte viajaste a través de las grandes dimensiones. Conociste lo que es la gravedad. En la tercera viste el aspecto que tiene nuestra realidad al viajar muy deprisa y luego, en la cuarta, entraste en el reino de lo diminuto. En resumen, hasta ahora te has aproximado a la relatividad del tiempo y del espacio, y a la física cuántica. Pero en ningún momento habías mezclado todavía la gravedad con las ideas cuánticas. Y eso es lo que vas a intentar hacer aquí.

Para ello, tendrás que ejercitar un poco la mente, de la misma forma que lo haces con el cuerpo cuando estiras.

Mezclar la gravedad con la física cuántica significa combinar lo gigantesco con lo diminuto. Así que, para prepararte, tu mente deberá aprender cómo saltar de lo muy pequeño a lo muy grande y viceversa, una y otra vez.

Al hacerlo, verás qué es lo que *falla* en las teorías que has visto hasta ahora.

Una vez hecho esto, viajarás con tu robot guía a un lugar donde la gravedad y los efectos cuánticos trabajan juntos.

Sin embargo, de momento, vamos a echar un vistazo a los misterios de la ciencia moderna, solos tú y yo.

Se podría decir que en física hay tres tipos de misterios.

Los primeros son inherentes a las propias teorías; son misterios teóricos. Los segundos están relacionados con las observaciones y los experimentos. Esos son los que normalmente, aunque no siempre, impulsan la investigación.

El tercer tipo de misterio surge cuando ya nadie entiende absolutamente *nada*. Los agujeros negros y la física pre-espacio-tiempo corresponden a los tres tipos. Existen tanto puentes como obstáculos entre nosotros y el santo grial de la investigación moderna: una teoría que unifique el mundo cuántico y los aspectos dinámicos del espacio-tiempo descifrados por Einstein. Y por eso es tan emocionante.

Y también por eso el robot está deseando llevarte cerca de un agujero negro.

Pero ¿por qué un agujero negro? ¿Por qué no a los mismísimos orígenes del universo?

Porque, tanto en el caso del agujero negro como en el del nacimiento del universo, una inmensa cantidad de energía se encuentra confinada en un volumen diminuto. En ambos casos, lo muy grande debe encajar en lo muy pequeño y, en ambos casos, no pueden ignorarse ni la gravedad ni los efectos cuánticos.

En ese sentido, los agujeros negros y el origen de nuestro universo son muy similares.

Aunque, por supuesto, uno no puede observar el universo desde fuera. Experimentalmente, aunque tuviéramos incluso una ley que gobernase el comportamiento de todo lo que hay, visible o invisible, no podríamos comprobar si diferentes condiciones iniciales crean distintos modelos evolutivos para nuestro universo en su conjunto. No podemos crear Big Bangs en el laboratorio y tampoco vemos aparecer nuevos universos en el cielo nocturno para poder analizarlos.

Por eso los agujeros negros resultan útiles.

Para empezar, hay muchos. Escoge prácticamente cualquier galaxia del universo y lo más probable es que en su centro haya un agujero negro supermasivo. Puede que también haya muchos más de menor tamaño, con masas equivalentes a unas cuantas veces la de nuestra estrella y distribuidos por doquier. A fecha de 2016, el agujero negro más grande detectado tiene 23 000 millones de veces la masa del Sol. Está a unos 12 000 millones de años luz en lo que fue una galaxia muy joven en el momento que emitió la luz que captamos actualmente. Al otro extremo de la escala, teóricamente, los agujeros negros más pequeños pueden medir cualquier cosa hasta el llamado límite de la *escala de Planck*, que corresponde a un entorno en el cual deben tenerse en cuenta tanto los efectos gravitacionales como los cuánticos. En cifras, la longitud de Planck corresponde a 16 millonésimas de una milmillonésima de una milmillonésima de milímetro.

Es tan diminuto, que a efectos prácticos los agujeros negros pueden tener cualquier tamaño.

Tanto los agujeros negros como el universo en sus inicios comparten algunas características importantes. Ambos implican un límite a partir del cual la gravedad no puede usarse sin incorporar los efectos cuánticos. Ese límite es el muro de Planck, el muro que viste al viajar hacia atrás en el tiempo más allá del Big Bang, al final de la anterior parte de este libro. En el momento del nacimiento del universo, ese muro estaba por todas partes. Sin embargo, en el caso de los agujeros negros no suele estar a la vista, sino que está oculto tras una puerta que solo se abre en una dirección: un *horizonte*. Cruzarás uno al final de esta parte.

Ese viaje será la clave que te lleve hasta la séptima parte del libro, donde te embarcarás en tu viaje definitivo; una travesía a través del universo tal y como se ve según las teorías modernas más populares, una visión del todo que busca unificar espacio, tiempo y campos cuánticos. Pero esas teorías, llamadas *teorías de cuerdas*, son tan demenciales, y están tan repletas de universos múltiples y paralelos y de dimensiones extra y demás, que tranquilamente podrías empezar a pensar que los científicos están mal de la chaveta.

Claro está, si no fuera por los misterios que resuelven.

Después de todo lo que has pasado para llegar a esta página, tal vez te parezca divertido saber que, en vez de haberlo descubierto casi todo, la física del siglo XXI nos deja con una imagen de nuestro universo que está llena, en su mayor parte, de profundas y oscuras áreas desconocidas. Sin embargo, no dejes que ello te decepcione. Esas áreas desconocidas son las ventanas (opacas) a través de las cuales nos asomamos a la ciencia del mañana. Y, entre tú y yo, si vemos lo mucho que el conocimiento de la humanidad sobre prácticamente todo ha avanzado en menos de un siglo y las desconcertantes ideas que brotan de las mentes de los físicos teóricos, no cabe duda de que quedan nuevas revoluciones del pensamiento aún por venir. Algunas puede que ya estén incluso maduras o listas para florecer, a falta tan solo del experimento adecuado, preparadas para moldear nuestras percepciones con la promesa de una extraña y mágica nueva realidad.

Así que esto es lo que te va a pasar ahora.

Primero, echarás otro vistazo a los campos cuánticos que llenan nuestro universo y verás que, a pesar de lo que te he contado hasta ahora, son un sinsentido. Luego echarás otra mirada más a todas las partículas que han generado estos campos dentro del contexto de la gravedad cuántica y verás que tampoco tienen ningún sentido. Luego conocerás a un gato que está vivo y muerto a la vez, y si lo vas siguiendo todo bien, para entonces ya habrás dejado de entender absolutamente nada.

Con el refuerzo que te proporcionarán esos éxitos, oirás hablar de universos paralelos que parten del nuestro como las ramas de un árbol.

Una vez te convenzas de que el mundo cuántico está completamente más allá de cómo nuestro sentido común nos dicta qué es la realidad, pasarás a un territorio más familiar. Con el objetivo de acabar salvando la distancia que separa lo muy diminuto de lo muy inmenso, volveremos de nuevo al panorama general para ver con ojos nuevos la teoría de Einstein, las galaxias de nuestro universo y su expansión, mientras esperamos encontrarlo todo tranquilizadamente bien definido. Lamentablemente, no va a ser así. Te darás cuenta de que la mayor parte de lo que contiene nuestro universo no solo es invisible para nuestros telescopios, sino que también es desconocido. El universo a gran escala está lleno de misterios mires adonde mires, al igual que a escala infinitesimal.

A regañadientes o no, tendrás que asumir entonces el hecho de que por muy poderosa que haya sido, y seguirá siéndolo siempre, la teoría de Einstein de un espacio-tiempo curvo, es incompleta, que incluso predice su propio fracaso, y, por tanto, no puede ser una teoría del todo. Dentro de nuestro universo *existen* lugares donde no puede usarse. Eso significa que hay que encontrar una teoría más grande si lo que se intenta es explicarlo todo.

¿Y dónde se viene abajo?

Probablemente lo has adivinado: dentro de los agujeros negros y antes del Big Bang, en algún punto de camino al muro de Planck.

Hasta ahora has viajado a través de las mejores teorías que la humanidad ha desarrollado para describir el mundo que nos rodea. En la práctica, eso significa que sabes tanto sobre nuestro universo como un buen estudiante de grado de cualquiera de las mejores universidades del planeta. Evidentemente, no en términos técnicos, pero sí en cuanto a ideas. Debería ser más que suficiente para epatar al resto de los invitados en una cena.

Es hora de que vayas más allá y veas lo que *no* funciona. Y entonces no solo deslumbrarás a los demás, sino que los dejarás rascándose sus cabezas en señal de incredulidad.

2

Infinidades cuánticas

¿Recuerdas ver el aspecto *real* del vacío del espacio exterior? Lo que hasta entonces parecía un mero vacío se convirtió en una jungla de campos fluctuantes. Las fluctuaciones se convirtieron en partículas que saltaban por todas partes en los vacíos de los campos.

En el mundo cuántico, si algo es posible, sucede. Así que olvídate por un momento de tu tamaño normal y de la gravedad, e imagina a tu mini tú inmerso en campos cuánticos, en el mundo de lo muy pequeño, sentado en una minisilla. Eres como un árbitro y observas a dos electrones interactuar entre sí como si estuvieras viendo un partido de tenis en el que los electrones son los jugadores y las pelotas son los fotones virtuales que danzan entre ellos.

Hay un electrón en algún lado a tu derecha y otro a tu izquierda. Al ser exactamente iguales, ambos poseen la misma carga eléctrica. Al igual que un imán, deberían repelerse el uno al otro. Seguro que mola verlo. De momento, los electrones están lejos y se propagan dentro del campo electromagnético del que nacieron. Se acercan el uno al otro, están a punto de colisionar pero no lo hacen. Interactúan. Juegan. Los fotones virtuales saltan del campo electromagnético, desvían a los electrones y los dispersan. Y así, con la misma rapidez que empezó, el juego ha terminado. Los electrones y los fotones virtuales se han ido.

Esperas a la próxima partida.

Hay otra pareja de electrones de camino.

Esta vez decides centrarte en los fotones virtuales en vez de en los electrones. Te fijas bien con tus mini ojos.

Los electrones se mueven. Se acercan cada vez más, y más, y de repente..., ¡pop!, aparecen los fotones virtuales. Para no perderte nada,

ralentizas el paso del tiempo.

Los electrones están a punto de ser desviados.

Los fotones virtuales están ahí, sin duda alguna.

Pero algo está pasando.

Uno de los fotones virtuales que apareció entre los dos electrones tenistas ha sufrido espontáneamente una extraña metamorfosis.

Se ha convertido en un par partícula-antipartícula: un electrón y un positrón.

Echas un vistazo rápido a los electrones, con ganas de saber si les ha afectado el haber perdido su perla de luz virtual, pero parece que no les importa en absoluto, así que vuelves a mirar al par que acaba de crearse y... ya no es un par, sino dos y medio.

Cierras tus mini ojos y te los frotas.

¿Qué clase de juego es este?

Vuelves a abrir los ojos.

De repente hay miles de pares de partículas y antipartículas entre los dos electrones.

Parpadeas.

Ahora hay cientos de millones.

Y ahora hay miles de billones.

Vuelves a parpadear y... han desaparecido todas.

Compruebas los electrones.

Se han dispersado. Exactamente igual que los anteriores jugadores. Impresionante.

Lo que acabas de presenciar es una de las consecuencias de las reglas cuánticas que se aplican a lo muy pequeño: si algo es posible, sucede. Y es muy posible que los fotones virtuales, al entrar en contacto con la energía de los electrones en movimiento, se conviertan en pares virtuales de partícula-antipartícula, que a su vez pueden convertirse en más pares de partícula-antipartícula, que a su vez pueden convertirse en más pares, o aniquilarse y convertirse en luz, que a su vez puede...

Ya te haces una idea.

Incluso cuando solo interactúan dos diminutos electrones, las posibilidades de que aparezcan pares virtuales durante la interacción son infinitas. Y por eso hay implicados un número infinito de pares virtuales.

Mientras consideras esto, aún sentado cómodamente en tu mini silla de árbitro, esperas la siguiente partida para volver a presenciar los fuegos artificiales, pero ya no hay más jugadores. Ningún electrón viene hacia ti. Pero, como ya sabes lo que tienes que buscar, sigues viendo aparecer pares virtuales de partícula-antipartícula, aunque a un ritmo más lento. Parecen pelotas y antipelotas de tenis surgiendo de la nada, sin ningún jugador alrededor.

Estas creaciones de pares son las *fluctuaciones cuánticas* del vacío.

Están presentes todo el tiempo, pero cuando hay algo de energía disponible a la que pueden acceder, como la energía cinética de algunos electrones que se acercan, se excitan mucho más.

Un par electrón-positrón aparece espontáneamente frente a ti y se convierte en un fotón, el cual se transforma espontáneamente en otro par, un par quark-antiquark, y ahora uno de los antiquarks emite un gluón, que a su vez...

Incluso en el vacío, donde parece no haber nada, para formarnos una imagen correcta de nuestro mundo hay que tener en cuenta todas las infinitas posibilidades de creación de partícula-antipartícula en todos los sitios y todo el tiempo.

Un caos.

Y un caos con una consecuencia más bien catastrófica: las posibilidades son tan importantes y numerosas (de hecho, son infinitas) que debería haber una cantidad infinita de energía en todos y cada uno de los puntos de nuestro universo. Incluso donde no hay nada más, en el vacío. Evidentemente, este no es el caso, o nuestro universo se colapsaría por todas partes en estos mismos momentos debido al extraordinario efecto gravitacional que eso tendría sobre el espacio-tiempo. Así que aquí hay algo que falla.

Para hacer más sencillo este enrevesado problema, los teóricos de los campos cuánticos se sacaron de la manga un truco bastante ingenioso: simple y llanamente, decidieron olvidarse de la gravedad y eliminarla por completo de la ecuación. Y ya de paso, se quitaron de encima también las infinidades. Las eliminaron e hicieron cálculos con lo que quedaba y ¡abracadabra!... Funcionó.

El físico teórico holandés Gerardus't Hooft, por citar a uno de los increíbles y brillantes físicos responsables de esta cirugía matemática, recibió conjuntamente con Martinus Veltman, el supervisor de su doctorado, el premio Nobel de física en 1999 por esto. Gracias a ellos (y a unos cuantos más), y a pesar del birlibirloque matemático para responder a la cuestión de

las infinitudes, se podría decir que la teoría de los campos cuánticos se convirtió, gracias a su poder predictivo, en la teoría científica más exitosa de todos los tiempos. Eliminar las infinitudes condujo a la predicción de partículas que no se habían visto antes; estas predicciones fueron exactas, al menos en cuanto a su masa o carga, hasta una parte en más de 100 000 millones. Si una persona cualquiera fuera así de precisa, podría ser capaz de adivinar si falta una gota de cerveza en un millón de jarras servidas en un bar. Los disturbios estarían sin duda a la orden del día si tuviéramos dicha capacidad.

Las teorías del campo cuántico son sorprendentemente precisas en su poder predictivo, pero este truco nos deja a todos frustrados por motivos que ni un millón de cervezas nos pueden hacer olvidar.

¿Por qué se producen esas infinitudes?

¿Podría ser sencillamente que no sabemos lo que está pasando en regiones de nuestro universo que son todavía más pequeñas que las que estas teorías están investigando?

Tal vez.

Al menos, eso es lo que pensó un extraordinario físico estadounidense. Se llamaba Kenneth Geddes Wilson y, en lugar de intentar explicar reinos infinitamente más pequeños para llegar a una conclusión sobre las partículas, pensó que tal vez esas escalas de vértigo fueran realmente el problema: que no hay que tener en cuenta obligatoriamente escalas cada vez más pequeñas para poder hablar sobre partículas. De la misma forma que no hay que saber sobre átomos para comparar manzanas en el puesto del mercado, Wilson argumentó y demostró que lo que no sabemos puede ser calibrado, codificado y después descartado.

Y funcionó; de hecho, recibió el premio Nobel de física en 1982 por ello.

Wilson no solucionó el problema de lo que pasa con lo infinitamente pequeño, tan solo se deshizo de él. Al introducir un punto de corte quedaba una tosca idea de lo que no se sabía; las infinitudes que habían dañado el campo hasta entonces ya no tenían lugar.

Este proceso de eliminación de infinitudes tiene un nombre. Se llama *renormalización*. Como ya dije antes, es increíblemente eficiente para hacer cálculos. Pero si uno tiene la esperanza de llegar a entenderlo todo, no puede sencillamente saltarse lo desconocido. Hay que zambullirse en ello. Sobre todo, porque con la gravedad estos procesos de renormalización no funcionan.

Las teorías del campo cuántico versan sobre lo que contiene el universo. Son muy exactas, asombrosamente exactas de hecho, pero solo cuando aíslan y fijan el espacio-tiempo, sin que la gravedad tenga absolutamente ningún efecto. No sería un mundo demasiado realista.

Necesitamos encontrar una forma de volver a incluir la gravedad.

Hay que convertir la gravedad en un campo cuántico.

Así que ¿cómo lo hacemos?

La teoría del campo cuántico afirma que, en cuanto hay campos alrededor, estos pueden crear unos paquetitos de energía o de materia llamados *cuantos*.^[50] Los cuantos básicos del campo electromagnético son los estados menos energéticos de sus partículas elementales, los fotones y los electrones. De forma similar, los cuantos básicos del campo de la fuerza nuclear fuerte nos dan los quarks y los gluones, mientras que los cuantos básicos del campo gravitatorio, considerado como un campo cuántico hipotético, son lo que antes llamamos *gravitones*.

Ya has oído hablar de ellos en la quinta parte del libro, pero entonces no les hicimos mucho caso. ¿Por qué han reaparecido aquí? Porque nos gustaría ver qué es lo que podría estar fallando con ellos.

Así que vamos a imaginar que la gravedad surge de un campo cuántico como el resto de los campos que has visto hasta ahora. Los gravitones son los portadores de su fuerza. Y cuando calculan sobre el papel cómo afectarían esos gravitones a su entorno, los teóricos hallan que lo harían exactamente igual que las curvas del espacio-tiempo.

Sobre el papel, *son* la gravedad.

Un comienzo muy prometedor.

Pero también ocurre que cuando piensan un poco más allá, los científicos se dan cuenta de que los mismísimos cuantos del campo gravitatorio, los gravitones, también hacen que la idea sencilla de la gravedad se venga abajo por completo.

Lo cual no es demasiado bueno.

¿Y por qué sucede esto?

En primer lugar, los gravitones no tienen ningún motivo para interactuar entre sí: si existieran, en todo caso deberían estar sujetos a la gravedad como todo lo demás y, por tanto, a sí mismos.

Y en segundo lugar, al ser partículas elementales de un campo cuántico, también deberían ser capaces de aparecer en cualquier lugar a partir del vacío de su campo, lo que daría lugar a infinitudes, las mismas que 't Hooft y Veltman eliminaron. Esta vez, sin embargo, las infinitudes cuánticas gravitacionales no pueden suprimirse mediante un proceso de renormalización; aquí, la maquinaria de 't Hooft y Veltman falla por completo y el enfoque de Wilson es totalmente inaplicable, ya que ignora las mismísimas distancias en las cuales actúan los gravitones.

En resumen, esto significa que, al tratar de convertir de una forma estándar la gravedad en un campo cuántico, aparecen infinitudes realmente problemáticas y, evidentemente, no podemos hacer la vista gorda a la gravedad para deshacernos de ellas, porque los gravitones *son* la gravedad.

Si la gravedad fuera un campo cuántico tal y como acabamos de decir, si los gravitones fueran la descripción correcta de cómo funciona la gravedad en la naturaleza, el espacio-tiempo debería reaccionar a esas infinitudes y colapsar por todas partes. Y no lo hace. Si fuera así, no estaríamos aquí hablando de ello.

Curiosamente, a pesar de todo esto, y aunque pienses que están locos, muchos científicos (entre los que me incluyo, y te mostraré por qué en la próxima parte del libro) creen que los gravitones existen, al menos como parte de la teoría más amplia que todo el mundo anda buscando.

Y ahora que estamos en ello, vamos un poco más allá, para que veas desde el principio varios motivos por los cuales la teoría general de la relatividad de Einstein y la teoría de los campos cuánticos se contradicen.

La gravedad tiene que ver con el espacio-tiempo. Es decir, con el espacio y el tiempo. Entrelazados.

En una teoría de los campos cuánticos, las partículas elementales que surgen del vacío están hechas del propio campo. Por tanto, en el caso de una teoría de los campos cuánticos sobre la gravedad, las partículas elementales deberían estar hechas de su propio campo. Pero ese campo es el

espacio-tiempo. Así que las partículas deberían estar hechas de espacio y tiempo.

Eso significa que debería haber paquetes fundamentales de espacio-tiempo flotando por ahí en todas partes y, de paso, también significaría que ni el espacio ni el tiempo son continuos.

Peor todavía, esos paquetes de espacio-tiempo deberían ser capaces de comportarse como ondas y como partículas. Y estar sujetos al efecto túnel, a los saltos cuánticos...

A ver si eres capaz de visualizar eso en tu mente.

De hecho, si eres un ser humano normal y corriente, solo de intentar pensar en ello se te deberían fundir las neuronas.

Sin embargo, en lo que respecta a la naturaleza, eso no tendría por qué ser un problema.

El problema real reside en que si incluso nos olvidamos de esas irritantes infinidades, el resto de las teorías cuánticas que describen tan bien todas las partículas que nos componen funcionan únicamente siempre y cuando no existan paquetitos de espacio-tiempo rondando por ahí.

En otras palabras: significa que la teoría general de relatividad y la teoría de los campos cuánticos no emplean las mismas nociones de espacio y tiempo.

Y eso sí es un problema.

Un problema enorme. Sin solución evidente.

Por tanto, uno se queda con una extraña sensación de estar atrapado en el medio. La humanidad ha descubierto dos teorías extremadamente eficientes: una que describe la estructura de nuestro universo (la gravedad de Einstein: la teoría general de la relatividad) y otra que describe todo lo que contiene nuestro universo (teoría de los campos cuánticos), pero esas dos teorías no quieren ni hablarse. Durante mucho tiempo, incluso los físicos que trabajaban en ambos campos seguían su ejemplo y no se dirigían la palabra mutuamente. El físico teórico estadounidense Richard Feynman, premio Nobel por su trabajo sobre la teoría de los campos cuánticos y uno de los científicos más brillantes de todos los tiempos, escribió una carta a su mujer que es el ejemplo clásico de este predicamento: «No estoy sacando nada de esta reunión — afirmaba en 1962, después de asistir a una conferencia sobre gravedad—. No estoy aprendiendo nada. Porque no hay experimentos; este campo no está activo, así que pocos de entre los mejores se dedican a ello. El resultado es que, finalmente, lo único que hay aquí es una manada de imbéciles (126) que

están logrando que la tensión me suba por las nubes. ¡Recuérdame que no vuelva a más conferencias sobre la gravedad!».

Sin embargo, gracias a las nuevas tecnologías y al trabajo de físicos teóricos como Stephen Hawking, los científicos acabaron por darse cuenta rápidamente de que no podían seguir ignorando aquello que desconocían, así que ideas de ambos lados empezaron a trasvasarse al otro y dieron origen a las locas ideas que verás en la séptima parte del libro, y que ahora te presentaré.

3

Ser y no ser, más bien

¿Recuerdas las partículas cuánticas con las que el robot estuvo jugando en la habitación blanca con el poste de metal? Ahí abajo, en el mundo de lo diminuto, las partículas realmente toman todos los caminos, tanto los posibles como los imposibles, para ir de un sitio a otro y de un tiempo a otro, siempre y cuando no haya nadie mirando.

Entonces, ¿por qué todos los aspectos cuánticos de todas las partículas que configuran tu cuerpo no te convierten en un tú cuántico?

¿A que molaría?

Todos los recorridos vitales que puedas imaginar sucederían simultáneamente. Serías muy rico y muy pobre, casado y soltero, feliz y desgraciado, ganador de un premio Nobel y absolutamente idiota, estarías aquí y allá, y vivirías ahora y entonces... Vivirías, sin duda alguna, todas las vidas con las que has soñado y, también, aquellas que no querrías ni imaginarte.

Pero eso no parece estar sucediendo.

Tú estás hecho de materia cuántica, ¿no es así? Así que debería suceder.

Pero no lo hace.

¿Por qué? Bueno, pues por increíble que parezca, nadie lo sabe. De hecho, está relacionado con uno de los principales misterios del mundo cuántico: ¿por qué no vemos efectos cuánticos por todas partes?

Si estamos hechos de partículas cuánticas, expresiones de campos cuánticos, como todo lo demás, ¿por qué percibimos el mundo tal y como lo hacemos y no de la forma en que lo hacen las partículas en su minúsculo nivel subatómico?

Alguien podría responder que el mundo es como es, y que la física está para descifrar sus reglas, no para cuestionarlas.

Sin embargo, esa afirmación tan modesta plantea un pequeño problema: las leyes del mundo cuántico son tan diferentes de la realidad que percibimos en nuestro día a día que debería haber algún tipo de transición entre el mundo cuántico y el *clásico*, que es como se llama al que experimentamos, al que estamos acostumbrados. Si las partículas que conforman nuestros cuerpos o que se encuentran en el aire o en el espacio exterior, se comportaran como pelotas de tenis o de béisbol decentes, no habría ningún problema. Lo entenderíamos todo, desde los elementos más diminutos a los más grandes.

Pero no se comportan así.

Ya has visto en muchas ocasiones que no lo hacen durante tus viajes por el mundo de lo minúsculo. Cuando intentabas atrapar el electrón que giraba alrededor del átomo de hidrógeno, por ejemplo, ¿recuerdas lo difícil que era saber simultáneamente dónde estaba y lo rápido que se estaba moviendo? Muy bien, echemos ahora otro vistazo a este hecho.

Imagínate en tu estado de mini tú. Eres más pequeño que un átomo. Se te acerca una partícula. No sabes nada sobre ella, ni su tamaño, ni dónde está ni la velocidad a la que se te acerca. Solo sabes que obedece las leyes del mundo cuántico.

Sacas una mini linterna de una mini bolsa que has traído contigo y te preparas para encenderla, pues esperas que la luz rebote en la partícula, esté donde esté, y vuelva a ti, para revelarte así su posición.

Pero no puedes usar cualquier luz para ello.

Necesitas usar la luz *correcta*.

¿Recuerdas que esa luz puede considerarse una onda? Bien, la luz *adecuada* significa aquí que la separación entre dos crestas de onda (su longitud de onda) tiene que ser aproximadamente del tamaño de tu objetivo o menor. Si usas una longitud de onda demasiado grande, la luz a la que corresponde no percibirá la partícula en absoluto. La atravesará, igual que las ondas de radio atraviesan las paredes de tu casa sin ni siquiera percibir las. Sin embargo, con la longitud de onda *adecuada*, obtendrás un rebote y podrás determinar la posición de tu partícula con la exactitud de la longitud de onda empleada. Al mismo tiempo, podrás comprobar cuál es la velocidad de la partícula y sabrás todo lo que quieras acerca de ella.

Fácil.

Ajustas el controlador de tu mini linterna de última generación para obtener un pulso de luz cargado de energía. Te concentras, disparas y...,

¡bam!, chocas contra algo. Una partícula. Ahí. Delante de ti. La luz ha rebotado sobre ella y ha vuelto a ti. El tiempo que ha tardado en viajar hasta ahí y volver te dice exactamente dónde se encontraba la partícula en el momento del impacto, así que esta ya no puede estar en cualquier lugar. Una vez detectada, la partícula pierde sus atributos de onda cuántica. De todas las posibles posiciones que conservaba simultáneamente hace tan solo una fracción de segundo, una de ellas fue elegida por el mero acto de usar tu linterna como sonda. Del mismo modo que cuando el robot lanzó la partícula en la habitación blanca, esta fue a todas partes *hasta* que la detectó por un detector. Este proceso irreversible se denomina *colapso de la función de onda cuántica*.

Una vez se produce el colapso, sabes dónde se encuentra la partícula con un nivel de precisión equivalente al de la longitud de onda. Ahora quieres saber lo rápido que se movía en el momento del impacto.

Pero no va a ser tan fácil.

De hecho, no podrás responder esa pregunta con certeza.

Nunca.

Recuerda: cuanto más corta sea la longitud de onda, más energética es la luz a la que corresponde.

Así, cuanto más precisa sea la posición que obtengas, más energía debía tener la luz que usaste en tu linterna, con más fuerza tuvo que impactar tu partícula y, por tanto, menos sabes sobre su velocidad subsiguiente.

En el mundo al que estamos acostumbrados, esta es una afirmación trivial.

Intenta, a oscuras, determinar la posición de un objeto en movimiento disparando algo contra él. El impacto afectará a aquello que querías determinar. Si lo que disparaste vuelve rebotado contra ti, sabrás dónde estaba el objeto en el momento del impacto, pero si vuelves a disparar una vez más para saber a dónde ha ido, verás que su velocidad ha cambiado debido al primer disparo.

Trivial, sin duda.

Sin embargo, en el mundo cuántico esto no es tan solo una incertidumbre trivial. Es una propiedad fundamental de la naturaleza. Establece fundamentalmente que no se puede saber al mismo tiempo dónde está una partícula y a qué velocidad se está moviendo. Esta regla se llama *principio de incertidumbre de Heisenberg*, en honor al físico teórico alemán Werner Heisenberg, que fue quien la descubrió. Heisenberg es uno de los fundadores de la teoría cuántica del mundo atómico. Obtuvo el premio Nobel de física en 1932 por ello. Sabía de lo que estaba hablando. Pero, al igual que todos los

demás desde entonces, no lo *entendía*. Está más allá de nuestra intuición, contradice nuestro sentido común.

El principio de incertidumbre convierte inmediatamente el mundo cuántico en un mundo muy diferente a nuestro mundo clásico de siempre.

En estos momentos, con respecto a tu cuerpo, sabes dónde se encuentra el libro que estás leyendo y a qué velocidad se está moviendo. Por tanto, conoces su posición y velocidad con un nivel de precisión bastante aceptable. Sin embargo, sigue habiendo una incertidumbre con respecto a su posición y velocidad; demasiado pequeña para que tú la percibas, y por eso es una incertidumbre irrelevante.

Sin embargo, en el mundo de lo diminuto, en tu estado de mini tú, no serías capaz de sostener un libro en tus manos, o ni siquiera una linterna. Si supieras exactamente dónde se encuentra una mini copia de este libro, la incertidumbre sobre su velocidad sería gigantesca, porque estarías disparándole multitud de partículas para saber dónde está, y nunca serías capaz de mirarlo. Por el contrario, si supieras con toda precisión la velocidad a la que se mueve, no habría forma de que pudieras ser capaz de saber dónde está, lo que dificultaría considerablemente su lectura. En lo muy pequeño, la posición y la velocidad confluyen en un concepto difuso. Al igual que el efecto Casimir, a medida que la tecnología se hace cada vez más pequeña, los ingenieros tendrán que enfrentarse con más frecuencia a este problema. Otro más.

Dicho esto, el principio de incertidumbre de Heisenberg no es un misterio. Es un hecho.

Estrictamente hablando, ni siquiera es una incertidumbre. Tan solo dice que nuestras nociones clásicas de posición y velocidad no son aplicables a lo diminuto. A esa escala, la naturaleza funciona de forma diferente y tenemos teorías que la describen y que la predicen: la física cuántica. Y esos extraños efectos sí que tienen efecto a nuestra escala, lo que pasa es que no estamos hechos para percibirlos. Se vuelven insignificantes cuando hay demasiadas partículas implicadas. Y eso también es un hecho bien sabido.

Entonces, ¿dónde está el misterio que estamos buscando? ¿Lo hay, acaso? Lo hay.

Nos saltamos algo en las mediciones que acabas de hacer: el propio colapso de la función de onda cuántica.

Y eso *sí* que es un misterio.

Uno realmente desconcertante.

Cuando están a su aire, las partículas cuánticas se comportan como imágenes múltiples de sí mismas (en realidad, como ondas) que se mueven simultáneamente a través de todos los caminos posibles en el espacio y el tiempo.

Entonces, una vez más, ¿por qué no experimentamos esa multitud a nuestro alrededor? ¿Se debe a que estamos sondeando cosas a nuestro alrededor constantemente? ¿Porque todos los experimentos que implican, digamos, la posición de una partícula hacen que esta se encuentre de repente en una parte en vez de en todas partes?

Nadie lo sabe.

Antes de que la sondees, la partícula es una onda de posibilidades. Después de sondearla, está en un lugar y, subsecuentemente, está allí para siempre, en vez de volver a estar de nuevo en todos los lugares.

Qué cosa más rara.

Nada dentro de las leyes de la física cuántica permite que suceda un colapso así. Es un misterio experimental y teórico.

La física cuántica estipula que siempre y cuando haya algo ahí, puede transformarse en algo diferente, por supuesto, pero no puede desaparecer. Y dado que la física cuántica permite que haya múltiples posibilidades simultáneamente, estas deberían continuar existiendo incluso después de realizar una medición. Pero no lo hacen. Desaparecen todas las posibilidades menos una. No vemos ninguna de las demás a nuestro alrededor. Vivimos en un mundo clásico, donde todo está basado en las leyes cuánticas, pero nada se parece al mundo cuántico.

Así que la cuestión es la siguiente: ¿cómo podemos hacer que los efectos cuánticos aparezcan a nuestra escala humana, de forma que podamos sondearlos y ver el colapso, si realmente se produce, con nuestros propios ojos? ¿Es posible? Y si pudieran verse los efectos cuánticos así, ¿qué es lo que esperaríamos ver?

En 1935, dos años después de recibir el premio Nobel por su trabajo sobre la física cuántica, el físico austríaco Erwin Schrödinger ingenió un experimento que trasladaba los efectos cuánticos a nuestra escala. Implicaba a un gato y una caja. Aunque nunca dejó de ser más que un experimento teórico, no hay científico en este mundo que haya dejado de preguntarse desde entonces si el gato está vivo o muerto.

Estás a punto de repetir el experimento de Schrödinger. Y espero que no seas un gran amante de esos adorables, ronroneantes, inocentes y juguetones gatitos: hay una buena probabilidad de que el gato resulte dañado durante el experimento. En cualquier caso, recuerda que aquí la idea es hacer que los efectos cuánticos parezcan macroscópicos. Es posible que haya que renunciar a algo.

Y una vez dicho esto, empecemos.

Para los que no lo sepan, un gato es un mamífero cuadrúpedo, habitualmente peludo y provisto de rabo que vive dentro de las mismas escalas de realidad que nosotros. La mayoría de las personas se pirran por darles mimos, pero hay algunas que no. Los hay de casi todos los colores pero, que yo sepa, no los hay verdes.

Para realizar el experimento teórico de Schrödinger, eliges un adorable gatito blanquinegro y buscas una caja que pueda sellarse tan bien que, una vez cerrada, no se pueda saber absolutamente nada desde el exterior de lo que sucede en su interior.

Además del gato y la caja, necesitas hacerte con una sustancia radiactiva, una muy especial que es conocida por tener un 50 por ciento de probabilidades de emitir algo de radiación durante el tiempo a lo largo del cual realizas el experimento. Los materiales radiactivos son muy impredecibles. Según las leyes cuánticas, no hay forma de saber de antemano si se van a desintegrar y a emitir radiación o no. Solo existe una probabilidad. En el caso de esta sustancia, una probabilidad entre dos.

Ahora necesitas encontrar otros tres objetos: un detector de radiación, un martillo y una ampolla que contenga un veneno letal.

Lo conectas todo de tal forma que si el detector capta la radiación emitida por la sustancia radiactiva, el martillo rompe la ampolla y vierte el veneno. Eso debería ser inofensivo, de no ser porque colocas todas esas cosas, martillo, sustancia radiactiva y veneno, con el gato en la caja y sellas la tapa.

Luego esperas.

¿Y después qué?

Hay un 50 por ciento de probabilidades de que el gato se envenene. Todo depende de la desintegración radiactiva.

Estamos de acuerdo, es un experimento bastante retorcido.

Definitivamente, no deberías intentarlo en casa.

Y ahora viene la cuestión: ¿el gato está muerto?

Tal y como se quería, aquí se están produciendo efectos cuánticos. Y el resultado es macroscópico; lo suficientemente grande para que lo podamos

ver.

Pero sin abrir la caja no tienes forma de saber si se produjo o no la desintegración radiactiva, así que no puedes determinar si la ampolla está rota y, por tanto, si el gato está vivo o muerto.

Nada nuevo, ¿no? Bueno, con todo lo cuántico más vale estar alerta y usar el sentido común con moderación. O mejor todavía, no utilizarlo en absoluto. Para inferir algo aquí hay que ceñirse a las leyes del mundo cuántico. En la vida real, uno espera que el gato de la caja esté vivo o esté muerto.

Pero entonces ambas respuestas serían incorrectas.

En el mundo cuántico, lo que puede suceder sucede. A estas alturas ya deberías estar acostumbrado.

Aquí, la desintegración y la no desintegración de la sustancia radiactiva tienen las mismas probabilidades de suceder, así que suceden *ambas*. De la misma forma que una partícula puede viajar a la derecha y a la izquierda de un poste sólido simultáneamente, la desintegración radiactiva también sucede y no sucede a la vez, siempre y cuando nadie esté mirando. Como dijimos antes, la mayor parte del tiempo no nos percatamos de esa *superposición* de posibilidades porque, por alguna extraña razón, nunca sucede —o alcanza— a nuestra escala. Sin embargo, nuestro experimento concreto se ha configurado de forma que nuestros ojos puedan verlo: la simultaneidad de dos posibilidades cuánticas (desintegración y no desintegración) está directamente relacionada con el dramático hecho de la muerte o la supervivencia del gato.

Y entonces, ¿qué dicen las reglas del mundo cuántico?

Dicen que, al estar la desintegración y la no desintegración directamente relacionadas con el veneno, el gato, mientras no se abra la caja, no debería estar ni vivo ni muerto, sino ambos.

Antes de que abras la caja, la desintegración se ha producido y no se ha producido, de forma que el veneno ha sido liberado y no liberado.

Así que el gato está muerto y no muerto.

Muerto y vivo.

Al oír esto, abres de inmediato la caja para comprobarlo.

El gato salta fuera, ileso y con todo su encanto gatuno.

Y no hay un cadáver tendido en el fondo.

Te rascas la cabeza.

Todo este asunto de «superposición de estados» y «subsiguiente colapso de posibilidades cuánticas» empieza a sonar más a una artimaña bastante elaborada que a un fenómeno real.

¿Lo hemos entendido mal? ¿Durante un rato el gato estuvo realmente muerto y vivo o fue todo un truco?

Veamos.

Al abrir la caja interferiste con el experimento, ¿verdad?

Ajá.

Sí que interferiste. *Miraste*. Y cuando uno mira, la naturaleza tiene que elegir.

Así que la elección, el colapso, si es real, tiene que haber sucedido, dejando al gato con vida.^[51]

Pero ¿el destino del gato quedó congelado antes de que abrieras la caja? ¿O lo hizo después, extremadamente rápido?

Vuelves a la cuestión inicial: ¿se produjo un colapso?

Schrödinger diseñó este experimento teórico en 1935 y durante años nadie pudo resolver el acertijo, hasta que el físico francés Serge Haroche y el físico estadounidense David J. Wineland lograron diseñar un experimento real capaz de detectar las superposiciones que supuestamente debían colapsarse.

Sin embargo, no usaron un gato.

Utilizaron átomos y luz.

Y vieron que las superposiciones cuánticas son muy reales; que prácticamente cualquier partícula cuántica puede, y así lo hace, existir simultáneamente en estados diferentes, mutuamente exclusivos. Hoy en día, ese es realmente el motivo principal por el que los ingenieros intentan construir ordenadores cuánticos. Usando la capacidad de las partículas cuánticas para estar al mismo tiempo en diferentes estados, esos ordenadores podrían, en principio, ser exponencialmente más potentes que lo que puede conseguirse con los clásicos y realizar simultáneamente computaciones «en paralelo». Haroche y Wineland recibieron conjuntamente el premio Nobel de física en 2012 por esto. De alguna forma, consiguieron demostrar que el gato de Schrödinger realmente estuvo muerto y vivo, simultáneamente, en un punto.

Y entonces, ¿dónde está el misterio aquí?

Se relaciona con lo que ya no está.

Las superposiciones son reales, vale. Eso es lo que demostraron Haroche y Wineland. Tenemos que aceptarlo.

Pero cuando abriste la caja, cuando se produjo el colapso y el gato saltó fuera vivito y coleando, ¿a dónde fueron las posibilidades que no viste? Si debió de haber sido real en un determinado momento, ¿a dónde se fue el gato muerto?

Ese es el misterio.

Muchos científicos se han planteado esto y recientemente han empezado a surgir una serie de presuntas respuestas. Algunos conjeturan que las posibilidades no observadas se desvanecen, como gotas de tinta en un lago, siendo este el mundo en el que vivimos. Es como si perlas de realidades posibles no realizadas se desvanecieran en la única realidad que prevalece, aquella de la cual formamos parte. Otros creen que nuestra conciencia tiene algo que ver con todo ello; que el propio acto de experimentar, o incluso de pensar, es lo que congela la realidad en un estado y, por tanto, la crea.

Y luego está el físico teórico estadounidense Hugh Everett III.

Nacido en 1930, Everett era un tipo bastante extraño. Extremadamente inteligente, estudió matemáticas, química y física e hizo su tesis doctoral bajo el tutelaje de uno de los físicos estadounidenses más influyentes de todos los tiempos, John Archibald Wheeler, de la Universidad de Princeton. Everett dejó la física justo después de acabar su doctorado, principalmente porque decía creer que todo era demasiado raro. Probablemente tampoco fueron de gran ayuda los intentos fallidos de Wheeler para que la comunidad científica tomara en serio las ideas de su alumno. Con veintiún años, y dejando atrás las cuestiones teóricas, Everett empezó a trabajar en el departamento de armamento supersecreto del ejército de Estados Unidos y acabó muriendo por un consumo excesivo de alcohol y tabaco. De forma extraordinariamente similar a las vidas de algunos poetas y pintores famosos que queman calladamente su talento durante su juventud mientras sus padres los desprecian, la disertación de 1956 de Everett acabó por convertirse en un clásico años más tarde. En ella hacía la extraordinaria afirmación de que ya que las ideas cuánticas funcionaban también a escalas diminutas, deberían tomarse en serio también en todas las magnitudes, hasta llegar a nuestra escala. Si todo en nuestro universo está hecho de materia cuántica, todo debería, por tanto, considerarse una onda cuántica gigantesca de posibilidades que existen simultáneamente.

Desde ese punto de vista, nunca se produce un colapso. Todas las posibilidades existen.

Desde ese punto de vista, el universo entero se ramifica cada vez que se toma una decisión como resultado de un experimento o de cualquier otra cosa. Por tanto, debería existir un número inabarcable de universos paralelos donde todas las posibilidades y todos los resultados alternativos son hechos.

Según Everett, estamos rodeados de historias paralelas.

¿Dudas entre dos ascensores antes de escoger uno? Otro tú, en un universo paralelo, elige el otro. En uno, te das de bruces contra la pared que hay entre ambos ascensores. Y en otro, subes por la escalera. De esa forma se cumplen todas las posibilidades.

En cierta manera, la visión literal de Everett de la física cuántica dice que si dejas de lado el egoísmo nunca estarás triste. Cuando te pasa algo malo aquí, un número infinito de túes en un número infinito de universos paralelos no sufren esa mala noticia y continúan tan felices.

En otra de esas infinidades de realidades paralelas, Everett sigue vivo e incluso está leyendo este libro. En algunas de ellas le gusta lo que he escrito sobre él. En otras, no. Y en otras fue él quien escribió el libro y, en este, el gato de Schrödinger es un perro verde.

Según la interpretación de Everett, la naturaleza nunca realiza una elección real. Todas las posibilidades suceden.

Solo que tú no eres consciente de ello.

No es de extrañar que abandonara la física.

La idea de Everett es rara, sin duda, pero hoy en día ha sido tomada en serio por algunos de los más grandes físicos de nuestros tiempos y hay varios modelos matemáticos que reflejan el origen del espacio-tiempo que se basan en ella. Ciertamente, no hay a la vista una confirmación (o rechazo) experimental de la afirmación de Everett, pero ofrece una razón atractiva de por qué la realidad en la que vivimos no es una superposición de posibilidades cuánticas: las posibilidades que no experimentamos son reales, pero están en otra parte.

Ahora, mientras te acostumbras a esa idea, vamos a resumir rápidamente lo que hemos visto hasta ahora.

Desde el inicio de tu viaje has estado viajando por separado dentro de lo muy grande y de lo muy pequeño. Cruzando reinos cósmicos, has descubierto el aspecto de la estructura a gran escala de nuestro universo y cómo lo rige la relatividad. En el reino de lo diminuto, has visto que las reglas cuánticas de la naturaleza son diferentes de las que estamos acostumbrados en nuestro día a día. Hasta esta parte has estado viajando, por tanto, a través de lo que es *conocido* tanto teórica como experimentalmente. Has visto lo que parece ser el universo, sea cual sea la escala, desde el punto de vista de un científico de principios del siglo XXI.

En esta parte has empezado a atisbar los límites de este conocimiento. Has visto que la teoría de la relatividad general y la teoría de los campos cuánticos no solo no se llevan demasiado bien, sino que, además, las leyes cuánticas no parecen regir nuestro devenir diario por motivos que, según algunos, van hasta el punto de implicar la existencia de mundos paralelos.

En la séptima parte del libro verás cosas todavía más raras.

De momento, sin embargo, sigamos ejercitando tu mente y dejemos lo muy pequeño para volver con Einstein. ¿Qué pasa con su teoría? ¿Qué misterios podemos encontrar en ella?

¿Hay alguno, acaso?

¿Son tan omnipresentes como las infinidades que echan a perder la teoría de los campos cuánticos?

La respuesta a estas dos últimas preguntas es sí.

4

Materia oscura

Olvídate de gatos, perros y universos paralelos de realidades alternativas.

Olvídate del mundo cuántico.

Olvídate de tu mini tú.

Ahora estás en el espacio en forma de mente.

Has visto que lo muy pequeño está lleno de misterios y quieres comprobar si la teoría de Einstein funciona en todas partes o si también tiene carencias incluso sin intentar convertirla en una teoría cuántica.

Entonces estás en el espacio. Das la espalda a la Tierra y vuelas hacia delante. Dejas atrás la Luna, el Sol y las estrellas vecinas.

Hasta aquí, la teoría de la gravedad de Einstein funciona a la perfección. Las estrellas y los planetas se mueven como deberían hacerlo.

Sales de la Vía Láctea al espacio intergaláctico y ahí te detienes.

La Vía Láctea está debajo de ti, justo ahí. Otras galaxias brillan a lo lejos. Gigantescas espirales con miles de millones de estrellas que irradian luz en un universo por lo demás oscuro.

Gracias a lo que has aprendido sobre la gravedad sabes que, al igual que los planetas que rodean el Sol, las velocidades de cualquier estrella dentro de una galaxia no pueden ser aleatorias. Las estrellas que vuelan demasiado rápido escaparían de la protección de su galaxia y vagarían por siempre, brillando en solitario a través de las inmensas distancias que separan a las galaxias entre sí. Si se movieran demasiado despacio, caerían de la pendiente espaciotemporal que crean las demás estrellas; esta pendiente las haría moverse efectivamente

hacia el núcleo de la galaxia, el racimo central lleno de estrellas donde acabarían siendo engullidas o destruidas por el agujero negro gigante que acecha ahí pacientemente. Sin la velocidad adecuada que la mantenga en una órbita estable, la estrella es expulsada de su galaxia o está condenada a caer, igual que una canica girando en una ensaladera cae al fondo o es expulsada fuera.

Recuerdas que la gravedad de Newton fallaba cuando esta era demasiado fuerte. Cerca del Sol, sus ecuaciones requerían correcciones para tener en cuenta la deriva de Mercurio. Einstein encontró esas correcciones y revolucionó nuestra visión del espacio y del tiempo. Y ahora, 100 años más tarde, es el turno de Einstein de afrontar un cambio de escala. ¿Qué pasa con la teoría de Einstein en torno a galaxias enteras? ¿Su teoría de curvas espaciotemporales funciona al enfrentarse a miles de millones de estrellas en lugar de a una sola?

Eso es lo que estás a punto de comprobar.

Coges un cronómetro y empiezas a cronometrar a las estrellas a medida que se desplazan por la Vía Láctea. Seguir a 300 000 millones de estrellas a la vez es un poco complicado, por lo que empiezas por las afueras, cerca de la punta de uno de los magníficos brazos en espiral, muy lejos de Sagitario A*, nuestro propio agujero negro supermasivo.

Cuentas diez segundos.

La estrella que cronometrabas ha viajado 2500 kilómetros. No está mal.

Eso corresponde a una velocidad media de unos 900 000 kilómetros por hora alrededor del centro de la galaxia. No está nada mal.

Sus estrellas vecinas son igual de rápidas.

Dos estrellas cualesquiera que estén a la misma distancia del núcleo de nuestra galaxia tendrán la misma velocidad. Las más lentas son las más lejanas, mientras que las más rápidas, como la rauda S2 que encontraste hace un rato, se encuentran más cerca del núcleo. Y si te estás preguntando cuánto le lleva a una de esas estrellas del extrarradio completar una ronda alrededor de la Vía Láctea, la respuesta es... unos 250 millones de años terrícolas. Un viaje muy largo. La Vía Láctea es grande. El Sol (y por lo tanto, la Tierra), al estar un poco más adentro, recorre la Vía Láctea en un poco menos de 225 millones de años, un período llamado *año galáctico*. La última vez que la Tierra estuvo en la posición galáctica que tiene actualmente, a los dinosaurios todavía les quedaban 160 millones de años de vida. Usando esa terminología, el Big Bang se produjo hace unos 61 años galácticos, y si empezamos a contar a partir de hoy dentro de otras 20 vueltas, la Vía Láctea y la galaxia de

Andrómeda estarán tan cerca que empezarán a colisionar. A propósito, el Sol explotará unos pocos meses galácticos después. Dicho así, no parece que falte tanto...

Muy bien.

Hasta aquí, todo bien.

No parece haber ningún problema con la teoría de Einstein, excepto que...

Excepto que sí que lo hay.

Para serte sincero, no eres el primero que comprueba lo rápido que se desplazan esas estrellas alrededor de nuestra galaxia. Sus velocidades son conocidas desde hace ya bastante tiempo, a principios de la década de 1930, cuando las midió el astrónomo holandés Jan Oort.

Pero Jan Oort fue un poco más allá.

Primero estimó la cantidad de materia contenida en toda la Vía Láctea. Luego comprobó si las velocidades que observaba coincidían con lo que era esperable para que las estrellas no cayesen ni fuesen expulsadas.

No coincidían.

No coincidían en absoluto.

Compruébalo tú mismo, ahora que estás ahí arriba, por encima de la Vía Láctea.

Si sumas la masa de cada estrella, nube de polvo y todo lo que veas que pertenece a la galaxia en la que vivimos, llegarás a la misma desconcertante conclusión: definitivamente, no hay materia suficiente para evitar que *ninguna* estrella sea proyectada fuera de la galaxia, dada su velocidad.

Y a diferencia de la incongruencia entre la teoría de Newton y la órbita de Mercurio, la disparidad aquí no es para nada diminuta.

Debería haber *cinco veces* más materia de la que puedes ver. De lo contrario, todas las estrellas deberían estar saliendo disparadas. Incluida el Sol.

Debes haber pasado algo por alto. Y seguro que lo mismo le pasó a Oort.

No es que falten tan solo un par de cientos de millones de estrellas y su equivalente en polvo, ya que entonces podrías haberte echado la culpa a ti mismo, o a Oort, por haber realizado una estimación incorrecta. Por cierto, eso habría sido aceptable. Pero ¿cinco veces esa cantidad? ¿Qué está pasando? Y para empezar, ¿quién era ese tal Oort? ¿Podemos fiarnos de él?

Sí que podemos. No era un astrónomo normal y corriente. De hecho, sus increíbles descubrimientos han ayudado a la humanidad a entender una buena parte de lo que viste mientras viajabas por el sistema solar y la Vía Láctea en la primera parte de este libro. Entre otras cosas, se le atribuye haber demostrado que el Sol no está en el centro de nuestra galaxia (hoy en día suena obvio, pero no lo fue hasta que él no lo demostró). También fue el hombre que planteó la hipótesis de la existencia de una gigantesca reserva de cometas (millones de billones de ellos) que ahora lleva su nombre, la nube de Oort, por la cual pasaste al cruzar los bordes externos del sistema solar y antes de entrar en el reino gravitacional de la enana roja Próxima Centauri.

Oort, como ves, no era un científico normal y corriente, y, en 1932, para explicar la absurda incongruencia entre la materia que podía ver en nuestra galaxia y la velocidad de sus estrellas, hizo una aseveración increíblemente osada. Afirmó que había un tipo de materia desconocida que llenaba la Vía Láctea. Un tipo de materia que no había sido detectada todavía de ninguna de las formas, ni en la Tierra ni en ningún otro lugar, porque no interactuaba con la luz, lo cual hacía imposible verla con cualquier tipo de telescopio que captase luz. La llamó la *materia oscura*. Según Oort, los efectos visibles de la materia oscura son solo indirectos, a través de la gravedad: la materia oscura no puede verse, pero dobla el espacio-tiempo igual que la materia normal, aunque, desde luego, de normal tiene poco. No puede estar hecha de las mismas partículas que conforman todo lo que conocemos, porque de lo contrario podríamos verla.

Un descubrimiento así suena como algo demasiado grande, y emocionante, para ser cierto y, por muy bueno que haya sido Oort, nadie es perfecto. Puede que se equivocara. Para comprobarlo, decides echar un vistazo al resto de las galaxias para ver cómo se mueven las unas alrededor de las otras, tal y como hizo el astrónomo suizo Fritz Zwicky en 1933, aproximadamente un año después de la afirmación inicial de Oort.

Si la materia oscura es real y está ahí, y tiene un efecto gravitatorio tanto en la Vía Láctea como dentro y alrededor de otras galaxias, no solo modificaría la forma en la que las estrellas se mueven dentro de las galaxias. También afectaría a la manera en la que las galaxias se mueven alrededor las unas de las otras.

Las miras, concentrado.

Analizas la espectacular danza cósmica de esos inmensos racimos de relucientes estrellas y... ya no te cabe la menor duda.

Al igual que Zwicky, te ves obligado a admitir que todas las galaxias se mueven demasiado rápido alrededor las unas de las otras como para no esconder una cantidad gigantesca de materia oscura con efecto gravitatorio.

Y la materia oscura no es materia.

No es antimateria.

Es otra cosa.

Nadie sabe el qué.

Se han realizado numerosas pruebas desde la década de 1930 y todas han llegado a la misma conclusión. La materia oscura está ahí. Existe. Allá donde haya materia, también hay materia oscura alrededor. Y aunque en este libro he intentado *mostrarte* todo lo que me gustaría compartir contigo acerca de nuestro universo, en este punto tengo que admitir que no puedo aportarte nada más.

¿Por qué?

Porque todavía hoy, más de 80 años después de la osada suposición de Oort, seguimos sin tener ni idea de qué está hecha la materia oscura. Sabemos que existe. Sabemos *dónde* está. Tenemos mapas de su presencia dentro y alrededor de las galaxias por todo el universo. Tenemos incluso rigurosas limitaciones sobre lo que *no* es, pero no tenemos ni idea de *qué* es. Y sí, su presencia es abrumadora: por cada kilo de materia ordinaria hecha de neutrones, protones y electrones, hay cinco kilos de materia oscura hechos de quién sabe qué.

La materia oscura.

El misterio gravitatorio inesperado número uno.

Podría significar que la teoría de Einstein no funciona a esas escalas, al igual que la de Newton no funcionaba al acercarse demasiado al Sol. Pero se han realizado demasiadas comprobaciones independientes. Parece que, efectivamente, la materia oscura está por todas partes: alrededor de las galaxias, alrededor de nuestra Vía Láctea y por todo el universo, pero no puedes verla.

Parece que en nuestro universo hay muchas más cosas invisibles que visibles.

5

Energía oscura

A través de los eones que han transcurrido después de la Edad Oscura de nuestro universo, se han producido gran cantidad de colisiones galácticas en las que galaxias enteras han chocado y se han fusionado. En el espacio exterior hay violencia por todas partes, y las galaxias que observas ahora son solo su parte visible.

La materia oscura, que supera a la materia en una proporción de cinco a uno, no es visible y, sin embargo, es tan abundante que tiene que haber desempeñado —y sigue haciéndolo— un papel en el vals cósmico que estás presenciando. Un vals cuyos bailarines, como ya sabes, son racimos de estrellas envueltos en mantos invisibles hechos de materia oscura.

Cuanto más observas moverse a esas galaxias, cuantas más formas y danzarines vislumbras, más mundos empiezas a imaginar en ellas, con cielos completamente diferentes al nuestro. Y de repente empiezas a preguntarte si alguna civilización lejana ya ha encontrado la solución a las preguntas de los humanos... Pero te detienes, cegado.

Una poderosa fuente de luz acaba de golpear tus ojos.

Oteas en la noche para detectar de dónde provenía, pero ya no está.

Y de forma igualmente repentina, te golpea otro rayo procedente de otro lugar inimaginablemente distante.

Y otro más.

Sales de tu ensoñación y centras tus pensamientos en las galaxias de las que parecen proceder estas señales luminosas.

Sin saber por qué, tu corazón palpita enloquecidamente. Observas su luz y la forma en la que se alejan en la distancia mientras giran las unas alrededor de las otras.

Algo va mal.

Las galaxias de las que proceden esas luces no se están alejando como deberían.

No estamos hablando de cómo trazan círculos entre sí, sino de la expansión del universo, de cómo *todas* las galaxias se van alejando, al igual que las semillas de amapola en un pastel horneado que va creciendo. Teniendo en cuenta lo que has aprendido sobre esta expansión, estas galaxias no se están moviendo correctamente.

Y este es el misterio gravitatorio inesperado número dos. E implica mucha, mucha más energía oculta que la materia oscura.

Para entenderlo, necesitas saber cómo calcular distancias en nuestro universo.

Cuando estabas tumbado en la playa de tu isla tropical, justo antes de iniciar el viaje al espacio exterior, ¿cómo podías saber cuál de las estrellas del cielo nocturno estaba cerca o cuál estaba lejos? Evidentemente, no basta con su brillo. Hay estrellas de prácticamente todos los tamaños y su luminosidad real puede variar considerablemente. Una estrella brillante vista desde la Tierra podría ser gigantesca y muy lejana o más bien pequeña, pero estar más cerca. Hay que usar algún otro truco, y los científicos, a lo largo de la historia, han ideado tres herramientas distintas para calcular las distancias cósmicas.

La primera se aplica a cualquier objeto, sea un planeta o una estrella, que esté lo bastante cerca de nosotros. Es la más sencilla de todas y emplea el sentido común (aquí no hay nada cuántico, así que está permitido usarlo). Imagínate que miras un árbol por la ventanilla de un coche en la autopista. Los árboles cercanos a la carretera pasan rápido, mientras que los que están lejos parecen desplazarse a un paso mucho más lento. Las montañas, en el horizonte, a veces parecen no moverse en absoluto. Pueden usarse como fondo fijo. En el espacio puede aplicarse el mismo concepto. A medida que la Tierra gira alrededor del Sol, los objetos cercanos tienen un movimiento aparente que resulta bastante obvio con respecto al fondo de las estrellas distantes, que parecen estar fijas. El cálculo de cuánto cambia la posición de un objeto con respecto a un fondo mientras la Tierra rodea al Sol permite a los científicos determinar lo lejos que está ese objeto en el espacio. Implica matemáticas que Euclides habría sido capaz de entender hace más de 2200 años. Va muy bien para estimar distancias cortas; dentro de la Vía Láctea, vaya. Pero no sirve para determinar distancias *galácticas*. Las galaxias están demasiado lejos. Mientras que tú, sobre la Tierra, órbitas alrededor del Sol, tu

perspectiva del cosmos puede cambiar hasta 300 millones de kilómetros del verano al invierno, pero eso no es suficiente para apreciar su movimiento: siguen formando parte del fondo fijo. Para averiguar dónde están, necesitas el segundo truco, que utiliza un tipo muy concreto de estrella llamado las *Cefeidas*.

Las Cefeidas son unas estrellas muy brillantes cuya luz oscila entre un nivel mínimo y máximo de intensidad con una regularidad realmente impresionante. Por increíble que parezca, los científicos han descubierto una forma de relacionar este período de oscilación con la cantidad total de luz que emiten. Y eso es todo lo necesario para poder saber lo lejos que están: al igual que el sonido de un cuerno se atenúa a medida que se aleja de su fuente, lo mismo sucede con la luz. Por lo tanto, recoger la porción de luz que emite una Cefeida distante al llegar a la Tierra nos revela la distancia a la que está. Y, por suerte, hay un montón de Cefeidas por ahí.

Pero este truco también tiene sus límites: no se pueden usar las Cefeidas individualmente para medir las distancias más grandes en el universo, porque ni los telescopios más potentes son capaces de diferenciarlas de los grupos de estrellas circundantes. Para sondear el universo profundo hace falta un tercer truco.

Puede que recuerdes de la segunda parte de este libro el trabajo del astrónomo estadounidense Edwin Hubble. En 1920, Hubble fue el primero en observar que las galaxias distantes se alejaban de nosotros y que el universo estaba en expansión. Algunos de tus amigos contribuyeron a confirmar el hecho realizando observaciones del cielo nocturno por todo el mundo con sus telescopios de miles de millones de libras.

En la década de 1920, Hubble usó el cambio de color de las luces que llegaban de las Cefeidas de galaxias lejanas para determinar su velocidad y observó que su inclinación a alejarse de nosotros era proporcional a su distancia: una galaxia que esté al doble de distancia que otra se moverá dos veces más rápido. Esa ley recibe ahora el nombre de *ley de Hubble*.

El tercer truco implica usar la ley de Hubble a la inversa allá donde no pueden diferenciarse las Cefeidas de su entorno. A partir de la forma en que cambian los colores en la luz que procede de galaxias lejanas, los científicos pueden decirnos por cuánto universo han viajado esas luces. Y con eso podemos saber a qué distancia se encuentra actualmente la galaxia.

La ley de Hubble es bastante sencilla y encaja bastante bien con lo que ya sabemos: el espacio y el tiempo se convirtieron en lo que son hoy en día hace algunos miles de millones de años; el espacio-tiempo lleva en expansión

desde entonces y, como parece ser normal para una expansión provocada por una violenta liberación de energía (lo que sería el Big Bang), la velocidad de expansión se ha ido reduciendo a lo largo de los miles de millones de años siguientes.

Todo funciona de perlas con este escenario, que parece bastante lógico.

Excepto que no se ajusta a lo que acabas de ver.

Los estallidos de luz que han captado tus ojos lo contradicen. La forma en la que han cambiado sus colores no corresponde con la magnífica, bellísima y coherente imagen arriba descrita. Algo falla, y es allí, en algún lugar, donde merodea el segundo misterio.

Para averiguar de qué va, viajemos un poco y echemos un vistazo a lo que provocó esos potentísimos estallidos de luz que llegaron hasta nuestros ojos.

Partiendo de encima de la Vía Láctea, te diriges a una galaxia en espiral particularmente bella y colorida que se encuentra a unos 8000 millones de años luz. Cruzas las inmensas distancias en expansión que separan nuestra familia cósmica de esta otra isla de luces y, una vez que estás junto a ella, entras por un lateral. Pasas volando al lado de millones de sus estrellas, atraviesas nubes de polvo del tamaño de miles de sistemas solares juntos y, de repente, vuelves a detenerte.

Justo frente a ti hay no uno, sino dos objetos brillantes que llaman tu atención. Orbitan el uno alrededor del otro, muy rápido, de forma bastante asimétrica. Uno de ellos es una gigantesca e iracunda estrella roja. La otra también es muy brillante, pero mucho, mucho más pequeña. Es más o menos del tamaño de la Tierra. Y es más bien blanca. Pero que no te lleve a engaño. A pesar de su enorme diferencia de tamaño, aquí la jefa es la diminuta, no la gigante roja. La bolita blanca es lo que queda del núcleo de una estrella que explotó un par de cientos de millones de años antes de que tú llegaras. Al morir la estrella, expulsó sus capas externas en todas direcciones, su corazón se comprimió y se convirtió en lo que ahora reluce frente a ti. Una *enana blanca*. Un objeto extraordinariamente denso y caliente. Las enanas blancas normales tardan decenas de millones de años en enfriarse y desaparecer, hasta convertirse finalmente en frías, oscuras y solitarias vagabundas espaciales. Esta, sin embargo, ha optado por seguir una vía completamente diferente.

Para que te hagas una idea de la densidad de una enana blanca, vamos a fabricar una pelota de béisbol con diferentes materiales. Una pelota normal, hecha de goma, cuero y aire, pesa unos 145 gramos. El mismo volumen

relleno de plomo formaría una pelota de unos 2,3 kilogramos. Si la llenamos del elemento más denso presente de forma natural en la Tierra, el osmio, la pelota de béisbol pesará aproximadamente el doble: unos 4,5 kilos.

Pero si llenamos el mismo volumen con material de una enana blanca, obtendrías una pelota de béisbol que pesa 200 toneladas. Dentro del reino de lo extremadamente denso, las enanas blancas ocupan el tercer puesto. Justo detrás de las estrellas de neutrones (llamadas así porque solo contienen neutrones) y de los agujeros negros. Uno podría por tanto suponer que en ellas tienen lugar reacciones de fusión nuclear extraordinarias, al igual que dentro de una estrella, pero no es el caso. Eso sí, siempre y cuando no encuentren una forma de crecer. De hecho, las enanas blancas siguen siéndolo mientras contengan menos del 140 por ciento de la masa de nuestro Sol.

Pero esta tiene algo de lo que alimentarse. Una estrella. Una gigante roja.

Está devorando viva a la gigante roja delante de nuestros ojos.

Superada gravitacionalmente por la enorme densidad de la enana blanca, la estrella está condenada. Ni siquiera puede mantener sujetas sus capas externas. En su órbita alrededor de la enana, su superficie se desgarrará formando un largo rastro de ardiente y brillante plasma que puedes ver cayendo en espiral hacia su voraz compañera de baile, y crea un reluciente y serpenteante río que fluye hacia la superficie de la enana blanca, donde es capturado y comprimido.

La cantidad de energía implicada es formidable. El mismo espacio-tiempo puede percibirla: la danza de la gigante roja y la enana blanca genera ondas gravitacionales, que se propagan a través del mismísimo tejido del universo y alteran el espacio y el tiempo a medida que entran en contacto con objetos cercanos.^[52]

Y a medida que ves más y más materia de la estrella gigante caer hacia la superficie de la enana blanca, intuyes, y con razón, que está a punto de ocurrir algo extraordinario. La enana blanca ha ganado un montón de peso y ha alcanzado el 140 por ciento de la masa del Sol, el umbral de masa. La presión en su propio núcleo es, de repente, suficiente para desencadenar una nueva reacción en cadena, increíblemente violenta, que lleva a la enana blanca a una extraordinaria defunción. Estalla en un abrir y cerrar de ojos. La explosión es 5000 millones de veces más brillante que el Sol. Un canto de cisne impresionante.

Ese tipo de explosiones se denominan *supernovas de tipo Ia*. Se producen aproximadamente una vez cada siglo en alguna galaxia. Son de lo más prácticas, porque son todas muy similares. Se podría incluso decir que

resultan idénticas: siempre se producen cuando una enana blanca alcanza el 140 por ciento de la masa del Sol tras alimentarse de otra estrella, y por eso siempre brillan con la misma luz: 5000 millones de soles reunidos en un puntito no mucho más grande que nuestra Tierra. Muchísimo más brillantes que las Cefeidas, son las velas ideales para sondear los rincones más lejanos de nuestro universo y comprobar la ley de expansión de Hubble.

Las supernovas de tipo Ia son más brillantes que cualquier otra cosa; tanto que, a diferencia de las Cefeidas, los telescopios humanos pueden distinguir las en las galaxias lejanas. Al conocer su brillo intrínseco, al igual que con las Cefeidas, los científicos pueden inferir lo lejos que están y a qué velocidad se están alejando.

En 1998, dos equipos independientes estudiaron esas supernovas distantes y publicaron sus resultados. Uno estaba encabezado por el astrofísico estadounidense Saúl Perlmutter, y el otro por los astrofísicos estadounidenses Brian Schmidt y Adam Riess. Ambos equipos hallaron que hace aproximadamente 5000 millones de años, después de más de 8000 millones de años comportándose con normalidad, la expansión del universo empezó a acelerarse.

La comunidad científica quedó conmocionada.

Y tú también deberías estarlo.

No solo fue inesperado, sino que, además, solo el resultado opuesto parecía ser aceptable.

A grandes escalas, la relatividad general de Einstein es la que rige todo, y la gravedad de Einstein, al igual que la de Newton, solo permite que los objetos se atraigan entre sí. Sea lo que sea lo que llena el universo, ya sea materia, antimateria o materia oscura, debería, en función de estas leyes, frenar cualquier tipo de expansión a largo plazo. Y no acelerarla.

Las observaciones de Perlmutter, Riess y Schmidt, sin embargo, afirmaban lo contrario, y la única forma de resolver esa contradicción era introducir algo muy novedoso que explicase esa aceleración. Y ese algo debía llenar todo el universo. Y necesitaba poseer una propiedad extraordinaria: debía actuar como una fuerza *antigravitatoria*, que repeliara la materia y la energía en vez de atraerlas.

Por alguna razón desconocida, esta nueva fuerza superó al resto de fuerzas de gran escala de nuestro universo hace unos 5000 millones de años. Antes de ese momento, su efecto era nulo.

Esta desconcertante energía ha sido bautizada como *energía oscura* y, curiosamente, teniendo en cuenta sus efectos observados, ha de ser muy abundante.

Según las estimaciones actuales, es, de hecho, exageradamente abundante. Tres veces más que la materia oscura.

Quince veces más que la materia ordinaria de la que estamos hechos.

Gracias a haber descubierto que la expansión de nuestro universo se está acelerando en lugar de ralentizarse, Perlmutter, Schmidt y Riess recibieron en 2011 el premio Nobel de física y hubo que reevaluar todo el contenido energético de nuestro universo. Hoy en día, según las estimaciones de los satélites de la NASA, está compuesto por lo siguiente:

Energía oscura: 72 por ciento.

Materia oscura: 23 por ciento.

La materia que conocemos (incluida la luz): 4,6 por ciento.^[53]

Todo lo que has visto hasta ahora en tus viajes corresponde únicamente al 4,6 por ciento del contenido total del universo.

El resto es desconocido.

Sin embargo, y a diferencia de la materia oscura, ya se había postulado en el pasado la existencia de algún tipo de energía oscura. Aproximadamente hace 100 años. Y fue el mismo Einstein quien lo hizo. Incluso llegó a llamarlo su «mayor error», aunque hoy en día parece que el único error fue haberlo considerado como tal.

Tal vez recuerdes (lo vimos en la segunda parte del libro) que a Einstein no le gustaba la idea de un universo cambiante y en evolución. Prefería con mucho pensar que el tiempo y el espacio eran, siempre habían sido y siempre serían tal y como él los experimentaba. Lamentablemente, su teoría general de la relatividad, en su forma más simple, afirmaba lo contrario. Decía que el espacio-tiempo no solo puede cambiar, sino que lo hace. Para permitir la posibilidad de un universo que no evolucionase, descubrió que podía cambiar un tanto sus ecuaciones añadiendo un nuevo término, el único término extra que permitían estas. En aquella época fue un gesto osado: las ecuaciones de Einstein significaban —y siguen significando— que el contenido energético local de nuestro universo es absolutamente equivalente a su geometría local, así que si uno de ellos puede cambiar, el otro también. Al añadir una nueva forma de energía en todas partes, se cambiaba, por lo tanto, la forma y dinámica del universo en todas partes. Para Einstein, la energía era todo

aquello que contaba con un efecto gravitacional, lo cual incluye actualmente la materia, la luz, la antimateria, la materia oscura y todo aquello que tiene un comportamiento gravitatorio de atracción normal y como mandan los cánones.

Pero el término que añadió Einstein podía tener ambos efectos (de atracción o repulsión), según su valor. Correspondía, físicamente, con una energía que llenaba todo el universo. La llamó la *constante cosmológica*.

Gracias a ella, el universo podía portarse como un niño bueno y ser estático, y así encajar en sus opiniones filosóficas.

Aliviado, Einstein ya podía dormir a pierna suelta.

Sin embargo, aproximadamente una década más tarde, el trabajo de Hubble demostró experimentalmente la expansión del universo. Adiós, universo estático. Así que Einstein retiró su constante cosmológica y la bautizó como su mayor error.

Aproximadamente un siglo después, la ironía está aparentemente en que aquello que borró del papel podría ser la herramienta que los teóricos necesitan desesperadamente para explicar el mayor misterio que haya descubierto jamás la humanidad: la energía oscura que causa la aceleración de la expansión de nuestro universo. La constante cosmológica puede hacer que el universo sea todo lo contrario a algo estático, expandiéndose cada vez más rápido. Podría resolver el enigma de la energía oscura. El único problema sería entonces descubrir de dónde procede. Volveremos a ese tema en la siguiente parte de este libro.

Mientras tanto, a mí me encantaría que todo el mundo cometiera errores como el de Einstein.

Sea lo que sea, el concepto de la energía oscura ya ha cambiado nuestra visión sobre la cosmología. Antes del descubrimiento de Perlmutter, Riess y Schmidt, se pensaba que nuestro universo tenía dos posibles futuros, dependiendo de su contenido total. Con demasiada materia, su expansión estaba condenada a invertirse en algún momento y la gravedad dominaría todo, como si hubieran conectado un resorte demasiado fuerte a todo lo que se está separando. En ese supuesto, todo el universo se contraería y acabaría en lo que se ha llamado el *Big Crunch*. Es como un Big Bang pero al revés, con el tiempo acelerándose hacia delante y no hacia atrás.

La otra posibilidad es que no haya materia o energía suficiente para evitar que todo siga separándose. La introducción de la energía oscura por parte de

Perlmutter, Riess y Schmidt postula que este es el futuro más probable. Salvo que nuestros telescopios capten un día de estos una nueva sorpresa, es bastante verosímil que este campo de fuerza antigraavitatoria se encargue de que la expansión siga por siempre jamás y genere un futuro cósmico bastante gélido. Ambas perspectivas (*Big Crunch* y muerte por congelación) son muy poco alentadoras, lo sé. Pero, como verás en la siguiente y última parte, puede que ese frío deceso no sea en absoluto el final.

Asimismo, también es posible que la teoría de Einstein, sencillamente, no sea aplicable a estas escalas tan gigantescas. En ese caso no podemos usar sus ecuaciones para inferir la existencia de la energía oscura. Al igual que las ideas de Newton probadas cerca de una estrella grande dieron como resultado órbitas erróneas, es muy posible que las ecuaciones de Einstein se desvíen de la realidad en algún punto. Sin embargo, hoy en día todo apunta a que la energía oscura es real, e incluso resulta probable que tenga un origen cuántico. Es una perspectiva de lo más emocionante para los que desean vincular lo muy grande y lo muy pequeño.

En cualquier caso, estén donde estén, la materia oscura y la energía oscura son realmente importantes. La gravedad de Newton nos ayudó a encontrar nuevos planetas alrededor del Sol. La gravedad de Einstein nos ha llevado a misterios mucho mayores, tan grandes que es posible que oculten pistas o claves que nos abran la puerta a reinos desconocidos de nuestra realidad a gran escala.

Con la necesaria humildad que esos descubrimientos nos imponen, es hora de que veas por qué la relatividad general no puede ser una teoría del todo y por qué predice su propio fracaso.

6

Singularidades

¿Te acuerdas de las infinidades cuánticas? ¿Te acuerdas de las catastróficas consecuencias en el espacio-tiempo cuando un número infinito de partículas aparecía por todas partes, todo el tiempo, en el vacío de un campo cuántico teórico?

Para lidiar con ello, los científicos tuvieron que pasar por alto la gravedad y hacer como si esas infinidades no estuvieran ahí, o ignorar lo que se esconde en lo aún más pequeño. Entonces funcionaba extraordinariamente bien, siempre y cuando la gravedad no fuese cuántica.

Pero, por ahora, vamos a dejar lo cuántico de lado.

¿Qué pasa con la propia gravedad? ¿Es posible que la materia que conocemos, la materia clásica que experimentamos a diario, tenga el mismo impacto en la estructura de nuestro universo? ¿Puede hacer que el espacio-tiempo se colapse sobre sí mismo?

La respuesta es un sí rotundo. Y esta vez incluso podemos ver el resultado en el cielo.

La imagen de un montón de canicas muy pesadas, lanzadas contra una fina lámina hecha de goma, encaja aquí muy bien.

Debido a la distorsión que se crea, las canicas más cercanas ruedan convergiendo unas con las otras y forma un conjunto que hace que la lámina de goma se curve todavía más. Con cada nueva canica que rueda hacia abajo y se une al grupo, la goma se deforma más y más.

En algún momento, ya sea porque no quedan más canicas o porque las que quedan están demasiado lejos, esta distorsión debería terminarse.

No hay nada de raro en ello.

Pero si la lámina de goma fuese blanda como un chicle, si no fuera lo suficientemente fuerte para soportar al conjunto de canicas en equilibrio con su propia tensión, seguiría deformándose cada vez más, aunque ya no cayeran más canicas, hasta romperse.

No hay ningún material que sea tan resistente como para soportar *cualquier* peso. De aquí parte la idea del umbral de densidad: coloca demasiado peso sobre una superficie demasiado blanda, y la superficie alrededor de la masa se distorsionará hasta, finalmente, romperse.

Y ahora ¿qué ocurre con el espacio-tiempo?

Aunque no se rompa, el espacio-tiempo reacciona a las densidades muy altas de una manera posiblemente más espectacular, ya que no se trata de un tejido de goma, sino del mismísimo espacio y tiempo.

Espacio-tiempo. No es una tela plana, sino un volumen. Más tiempo.

El espacio-tiempo se dobla, se curva y se estira en torno a los objetos que contiene, ya sean estos materia o algún tipo de energía. Así es como lo entendió Einstein.

Si almacenas energía continuamente (da igual la forma) en un determinado volumen, como puede ser la lámina de goma, estarás condenado a tener un problema. A partir de un umbral concreto, nada será capaz de detener la continua curvatura del espacio-tiempo, ni siquiera si ya no hay nada más que pueda caer dentro.

Y mientras esta deformidad es cada vez mayor, lo que sea que la haya provocado no para de comprimirse y aumenta todavía más su densidad, un círculo vicioso que lleva inexorablemente al colapso del espacio-tiempo, un colapso salpicado de infinidad de singularidades que la relatividad general no es capaz de explicar. Estas infinidad de singularidades se denominan *singularidades*. No son iguales a las infinidad de cuánticas que viste antes. No tienen nada que ver con procesos cuánticos. Aparecen cuando hay demasiada masa, o energía, encerrada en un volumen demasiado pequeño. Están localizados. Y la posibilidad de su existencia pone en jaque la teoría de la gravedad de Einstein.

A finales de la década de 1960 y principios de la década de 1970, cuando casi todo el mundo estaba colocado, escuchando música psicodélica o buscando nuevas partículas fundamentales, los físicos matemáticos británicos Roger Penrose y Stephen Hawking demostraron, en un conjunto de célebres teoremas, que tales colapsos ocurrían necesariamente en un universo gobernado, a gran escala, por la relatividad general. Gracias a sus teoremas,

probaron que la teoría general de la relatividad de Einstein poseía la muy humilde característica de predecir su propio fracaso.

Así como la teoría de Newton tuvo que ser revisada para abarcar la desviación de Mercurio, se hizo patente que la teoría de Einstein necesitaba ser ampliada para incluir estos colapsos.

¿Dónde tienen lugar?, te preguntas. ¿Pueden encontrarse en la naturaleza o son simples invenciones teóricas?

Son reales, y sé que tú sabes dónde encontrarlas.

Una de estas singularidades, la madre de todas ellas, se sitúa en el pasado de nuestro universo, cuando toda la energía del universo estaba confinada en un volumen minúsculo.

En cierto modo, nuestro universo nació de esta singularidad, ya que es a partir de la misma que el espacio y el tiempo se convirtieron en lo que son hoy en día.

Otra singularidad se esconde en lo profundo de todos los agujeros negros que tachonan nuestro universo.

Contrariamente a lo que muchos puedan pensar, los agujeros negros son lo opuesto a los agujeros vacíos: nacen cuando, debido a algún colapso catastrófico, *demasiada* materia acaba siendo comprimida en un volumen demasiado pequeño. Como oirás más adelante, la muerte de una estrella gigante puede desencadenar este proceso.

La pregunta que no solo ha atormentado, sino también ha entusiasmado a muchas mentes brillantes desde los teoremas de Penrose y Hawking, es la siguiente: si, según parece, las singularidades suceden en la naturaleza, ¿cómo puede uno siquiera *concebir* qué es lo que ocurre dentro de ellas? ¿Cómo se pueden imaginar lugares donde el espacio y el tiempo ya no tienen sentido? ¿Qué teoría puede probar estos catastróficos colapsos?

Una teoría que englobe lo muy grande y lo muy pequeño.

Ya que tanto los agujeros negros como el origen de nuestro universo se basan en una enorme cantidad de materia y energía encerrada en un volumen extremadamente pequeño, la respuesta debería incluir una teoría que combinara procesos gravitacionales y cuánticos.

Cualquier teoría mejor que la de Einstein que podamos desarrollar para entender nuestro universo debería incluir aspectos cuánticos de la gravedad como el espacio-tiempo.

Penrose y Hawking demostraron que la teoría de la gravedad de Einstein tenía graves limitaciones, ya que no puede explicar ni el pasado ni el presente de todo nuestro universo: fracasa antes de poder llegar al nacimiento del

espacio-tiempo y vuelve a fallar antes de poder investigar qué se esconde detrás de los agujeros negros actuales.

Dicho esto, uno podría pensar que la culpa de que resulte tan difícil encontrar una teoría cuántica de la gravedad sería de la propia gravedad, de la niña mimada de Einstein. Pero ya has visto que este no es el caso. También hay problemas con la visión cuántica del mundo.

Aun así, y por muy duro que te parezca, estás a punto de probar la mezcla de ambas, ya que ha llegado el momento de que te enfrentes a un agujero negro.

El gris es el nuevo negro

Teniendo en cuenta la situación, te sientes extraordinariamente normal.

No eres etéreo, no puedes ver a través de ti, y tus brazos y piernas, así como el resto de tu cuerpo, responde a tus órdenes de moverse. Estás hecho de carne, huesos y sangre, y tu corazón late al mismo ritmo al que normalmente lo hace. Una pequeña molestia en tu cuello confirma que, efectivamente, te sientes igual que en la Tierra. Solo que estás en el espacio exterior. Tu robot guía, ataviado con su carcasa metálica amarilla y el tubo para lanzar partículas, está a tu lado, igual de tangible y real que tú.

Miras a tu alrededor.

El aeropuerto futurista ha desaparecido. No eres capaz de reconocer nada, pero supones que te encuentras dentro de una galaxia, cerca de su centro. Miles de millones de estrellas brillan como suelen hacerlo. Por todas partes. Excepto justo delante de ti, donde una zona oscura de espacio-tiempo está desprovista de estrellas.

Mientras te mueves junto al robot, te das cuenta de que esta extensión de oscuridad se desplaza a la deriva hacia las estrellas del fondo.

Así que está cerca.

Un vacío vagando por el espacio. Una amenaza oscura que nos acecha a todos.

Sabes lo que es.

Es enorme, como 10 000 millones de veces la masa de nuestro Sol. Pero este agujero negro no se parece en nada al que viste en el centro de la Vía Láctea. No hay ningún anillo de luces ardientes a su alrededor. No hay ninguna estrella cerca a punto de ser engullida. Este agujero negro ya se ha tragado y ha digerido todas las estrellas que en algún momento estuvieron a su alcance. Y, de paso, también sus restos. Ahora está todo limpio. No tiene

de qué alimentarse, salvo las ocasionales rocas provenientes de algún accidente lejano. Algunas están de camino ahora mismo.

—Incluso si hay solo un mínimo indicio de gravedad cuántica escondido ahí abajo, vamos a encontrarlo —afirma la máquina.

—¿Será peligroso? —preguntas.

—Por supuesto que sí. Es un agujero negro.

Vuelves a mirar hacia el agujero negro y lo comparas con el que te encontraste al principio del libro. No hay ningún chorro de luz emanando de sus polos. Solo es una superficie negra de vacío, de aspecto plano y circular. Caes en espiral por la pendiente que el espacio-tiempo ha creado. Mientras te deslizas, las estrellas lejanas que pasan cerca de su borde se ven distorsionadas, muy lejos de donde se encontraban una milésima de segundo antes. De ser puntos de luz, pasan a convertirse en pequeñas cuerdas brillantes que recubren el borde exterior del disco oscuro. Y después desaparecen, como si hubiesen sido absorbidas por el oscuro vacío, antes de reaparecer al otro lado, donde la secuencia de distorsión vuelve a reproducirse al revés, hasta que las estrellas vuelven a parecer puntos brillantes lejanos.

Parece que la luz es deformada por este agujero, el cual, en apariencia, se expande desde dentro como un pozo oscuro, mientras su borde actúa como una lente deformante.

Con el robot a tu lado, continúas cayendo en espiral. Todavía estás bastante lejos de lo que quiera que sea el agujero negro, pero empiezas a tener una sensación de fatalidad y deseas con todas tus fuerzas que lo que quiera que el robot pretenda enseñarte llegue ya, para que puedas irte antes de que sea demasiado tarde, independientemente de lo que signifique *demasiado tarde*.

—Mira sobre tu hombro izquierdo —te indica el robot después de un rato de silencio.

Te das la vuelta. Una roca se dirige directamente al agujero negro. Se trata de un asteroide giratorio del tamaño de una montaña. Pasa disparado a una velocidad asombrosa a unos 100 kilómetros de tu posición.

Fijas tu vista sobre su oscura superficie plateada, el único objeto que se mueve hacia el disco negro del agujero negro.

Parece que su tamaño disminuye mientras se aleja. Alcanza ahora el ancho de un melocotón. Ahora es del tamaño de una pequeña y deforme nuez, y entonces, de repente, justo cuando tu caída en espiral ha hecho que pases al

otro lado del agujero negro, aparecen dos imágenes de la roca. Una a tu izquierda y la otra a tu derecha. La curvatura del espacio-tiempo en torno a la superficie oscura es tal que la luz parece ser capaz de tomar varios caminos hasta alcanzar tus ojos...

—La roca lo atravesará dentro de poco —comenta la máquina, casi con tristeza.

—¿Atravesará? —preguntas, bastante preocupado—. ¿Qué quieres decir con *atravesará*? ¿Atravesará el qué?

—Atravesará el horizonte de sucesos.

—¿El qué?

—El *horizonte de sucesos de un agujero negro*. El límite de no retorno. Ya lo verás. O no lo harás. Ningún ser humano ni ninguna máquina ha estado nunca tan cerca de un agujero negro, y menos aún dentro de uno. Existe una teoría sobre qué *debería* pasar aquí abajo. Pero podría estar equivocada. Al cruzar el horizonte de sucesos, estaremos más allá de todo lo conocido.

—Por lo tanto, no deberíamos acercarnos mucho —le sugieres.

—A lo mejor, sí que deberíamos —responde el robot—. Así es la investigación. Hay que asumir algunos riesgos calculados.

—Entonces, ¿dónde debería buscar el horizonte de sucesos?

—En todas partes.

Moviendo el tubo de lanzamiento de derecha a izquierda, el robot señala alternativamente dos lugares opuestos cerca del borde del agujero negro, hacia las dos imágenes de la roca, y en medio.

Desplazas la vista de una imagen a otra y esperas que ambas prosigan su caída hasta desaparecer a través del horizonte, dentro del agujero. Pero cuando ya has completado otra órbita completa, el asteroide plateado del tamaño de una nuez continúa flotando sobre el vacío oscuro. Extrañamente, aparenta no haber cambiado lo más mínimo desde la última vez que pasaste por encima suyo. De hecho, parece que ya ni se mueve ni gira más.

—¡No ha caído! —gritas, aliviado con la idea de que tal vez sea posible que hoy no termines destrozado por un agujero negro.

—Sí que lo hizo —te corrige el robot—. Ya no está ahí.

—Muy gracioso.

—Se ha ido —insiste el robot—. Solo queda su imagen. Es la consecuencia de la curvatura del espacio-tiempo. Del espacio y el tiempo. Nuestro tiempo, el tuyo y el mío, no va a la misma velocidad que el de la roca. El asteroide está más allá del horizonte de sucesos. Su imagen está todavía en el horizonte. Así es como funciona.

Mientras lo asimilas, otro objeto pasa a toda velocidad a tu lado, hacia el vacío: una piedra brillante. Se asemeja mucho a un diamante gigantesco y, de hecho, eso es exactamente lo que es. Algunas estrellas, al morir, se transforman en diamantes del tamaño de una luna.

Mientras observas cómo cae, completas otra órbita alrededor del agujero negro y te das cuenta de que estás más cerca de él que antes. Y te mueves mucho más rápido. Vuelta tras vuelta, las imágenes del asteroide y la del diamante, ahora uno al lado de la otra y aparentemente congeladas sobre una oscuridad irreal, se deforman cada vez más. Al igual que todo lo demás que ves.

Sea lo que sea lo que tus ojos estén intentando transmitirte, el robot vuelve a estar en lo cierto: ya no hay vuelta atrás para el asteroide y el diamante. Y el tamaño del agujero negro, al engullirlos, ha crecido. O, por lo menos, lo ha hecho su horizonte de sucesos.

—¿Es esto lo que querías que viera? —le preguntas al robot—. ¿Que un agujero vacío crece al tragarse cosas?

—Los agujeros negros no están vacíos en absoluto —responde el robot de manera ominosa.

De hecho, los agujeros negros son el polo opuesto al vacío: se forman cuando hay *demasiada* materia y energía en un espacio demasiado pequeño. Para crear uno se necesitaría una cantidad tremenda de energía. Por lo que sabemos hasta ahora, solo las estrellas brillantes más inmensas liberan al morir la energía suficiente para comprimir su núcleo hasta crear un agujero negro.

Anteriormente en tu viaje te has encontrado con enanas blancas, y estas son el resultado de una compresión similar, aunque no tan extrema, a la de los agujeros negros. Estos tipos de remanentes de colapsos estelares son impresionantes, pero los agujeros negros van más allá de todos ellos. Y, mientras sigues girando en torno al agujero negro al que inexorablemente te diriges, déjame darte otra razón de por qué son tan aterradores y misteriosos.

Si te sentaras sobre cualquier objeto del universo, como una roca, un planeta o una estrella, serías capaz de enviar alguna luz para señalar tu posición. Pero cuanto más denso sea el objeto donde estés sentado, más energía necesitará la señal para subir por la pendiente que ha creado el objeto en el espacio-tiempo. Es como la ensaladera: cuanto más profunda sea, más rápido tendrás que lanzar una canica desde el fondo para que ruede hacia arriba y consiga salir. Sentado sobre un planeta, una estrella o una enana

blanca, tu señal necesitaría sucesivamente de más energía para escapar de su poder de atracción y alcanzar el espacio exterior sin caer hacia atrás.

Los agujeros negros son incluso peores. Al contener tanta materia y energía provocan una curvatura del espacio-tiempo tan pronunciada que cualquier objeto lo bastante torpe como para acercarse demasiado está condenado a quedarse atrapado dentro. Según la relatividad general, no hay nada en nuestro universo que tenga el poder necesario para escapar de la atracción gravitacional de un agujero negro. Ni siquiera la luz. El punto de no retorno a partir del cual nada puede salir —el *horizonte de sucesos* del agujero negro— se encuentra allí donde la roca y el diamante se han congelado aparentemente, si los miras desde fuera.

La oscuridad frente a ti se hace cada vez más grande, como si una enorme boca estuviera a punto de tragarse tu realidad.

Todas las estrellas distantes se ven ahora muy diferentes. Tienes incluso la extraña sensación de que lo que ves delante de ti realmente está detrás... Al girar la cabeza, te das cuenta de que no es una sensación, sino que está pasando de verdad. La luz que emiten las estrellas detrás de ti viaja muy rápido, como siempre hace la luz, adelantándote y lanzándose por la pendiente del agujero negro. Cualquier rayo que se propaga a la izquierda del monstruo vuelve a aparecer a su derecha, después de haber realizado un giro completo al estilo de una montaña rusa. Y entonces esos rayos se lanzan hacia ti e impactan en tus ojos. Mirando al frente también ves detrás de ti...

De hecho, puedes ver el universo entero desde donde te encuentras solo con mirar al frente.

Y mientras tú sigues cayendo en espiral, las cosas se vuelven todavía más confusas.

Las imágenes de la roca y el diamante se mueven otra vez: a medida que te aproximas a ellas, tu tiempo y el suyo se acercan más y más, y, de repente, las imágenes desaparecen.

Acabas de verlas cruzar el horizonte, algo que probablemente hicieron unas horas antes según su propio reloj temporal.

A tu lado, el robot se da la vuelta y su tubo de lanzamiento señala al espacio exterior.

Lentamente, tú también te das la vuelta, temiendo lo que puedas encontrarte.

Y lo que ves escapa a la imaginación.

Todas las estrellas que, hace un segundo, parecían tan quietas, se mueven. Este movimiento, que normalmente es imperceptible para un ciclo de vida humano, se hace ahora evidente para ti. Todas las estrellas, de la más cercana a la más lejana, se proyectan a través del espacio-tiempo. Algunas se mueven tan rápido que incluso dejan un rastro en tu retina y trazan efímeras curvas de luz sobre de tu imagen del universo. Igual que antes, cuando viajabas a través del universo, cada vez más cerca de la velocidad de la luz, y pudiste observar cómo la vida de una astronauta y la vida de sus hijos, y la de los hijos de sus hijos, pasaba corriendo delante de ti, su tiempo transcurre más rápido que el tuyo. En aquel momento, tu tiempo y el suyo eran diferentes debido a la velocidad. Esta vez, el motivo no es otro que la gravedad, que la curvatura del espacio-tiempo provocada por la presencia de un agujero negro. Porque aquí, alrededor del agujero negro, tu tiempo fluye más despacio que en cualquier otra parte. Observas cómo el futuro del universo se desarrolla poco a poco, y esto es justamente lo que ocurre, en la práctica, cuando el espacio y el tiempo se unen en el espacio-tiempo.

—¿Hemos cruzado el horizonte de sucesos? —preguntas de repente, preocupado—. ¿Estamos condenados a caer para siempre?

El robot se da la vuelta de nuevo para mirarte y te das cuenta, con gran sorpresa, de que su tubo de lanzamiento se ha ensanchado. A decir verdad, ahora ya no parece que sirva para lanzar partículas, sino bolas de bolos...

—No, todavía no *hemos* cruzado el horizonte —responde—. Pero *tú* estás a punto de hacerlo.

Si no fuera porque sabes que es imposible, dirías que has percibido una pizca de satisfacción en la voz del robot. Pero antes de que te dé tiempo a reaccionar, el robot dispara una bola pesada directamente a tu pecho. Incapaz de evitarla, no te queda más remedio que agarrar el proyectil. Instantáneamente, su velocidad te empuja hacia delante, en dirección a la inmensa oscuridad...

Gritas, intentas desesperadamente aferrarte a algo para no seguir cayendo, pero no hay nada a lo que agarrarse.

Caes. El robot se aleja.

Un segundo tuyo ya se corresponde a un minuto suyo.

Y ahora a una hora.

Y ahora a un día.

Y ahora a un año.

Mientras el robot se pierde en la distancia, millones de años pasan frente a ti. Las estrellas explotan. Nacen nuevas estrellas. Y lo observas todo.

Mil millones de años han pasado ya ahí fuera. Otra galaxia se fusiona con aquella donde estás tú.

El robot ha desaparecido de la vista. Estás solo.

Y te entra el pánico.

Has cruzado el horizonte de sucesos del agujero negro. Sobrecogido, contemplas el futuro de todo. Muerto de miedo, incapaz de enfocar la vista, caes de pie, los ojos fijos en la vida de todo el universo a medida que se despliega sobre tu cabeza, mientras desapareces en un abismo de una nada desconocida en cuyo fondo se encuentra una singularidad.

Y ahora te das la vuelta para mirar dentro, dentro del misterioso núcleo del agujero negro, donde lo contrario de la nada, la misma materia que ha generado todo este sinsentido, debería crear esta locura en alguna parte.

Para tu gran sorpresa, no ves nada. Ni siquiera tu cuerpo. Ni tus pies. Ni tu nariz. Ni siquiera tu propia mano.

La luz cae sobre ti desde arriba, desde el exterior, pero nada emerge desde abajo, desde ningún sitio, por muy cerca que esté. La luz no tiene suficiente energía para hacerlo. Has cruzado el horizonte de sucesos del agujero negro y ahora estás condenado a caer en picado para siempre, en dirección a la superficie de estrellas colapsadas, reunidas en una caída de implosión sin final hasta que estiren el espacio-tiempo más allá de la teoría de la relatividad de Einstein, con consecuencias desconocidas.

De hecho, si de verdad estuvieras allí, ya habrías muerto, dado que, si ni siquiera la luz puede viajar la corta distancia que hay de tus pies a tus ojos, sería imposible que tu sangre pudiera remontar la pendiente del espacio-tiempo por donde te deslizas para llegar a tu cerebro.

Pero, como aún nos queda mucho por ver, vamos a asumir que sigues vivo.

Reacio a mirar hacia esa oscuridad sin fin, decides volver a darte la vuelta para observar el universo mientras sus imágenes viajan hacia ti a través del ahora lejano horizonte. Pero no puedes. Cualquier movimiento que implique

desplazar alguna parte de tu cuerpo hacia *arriba*, en dirección al más allá, al exterior, está bloqueado. Requeriría de tanta energía que ni siquiera la luz es capaz de poseer tal cantidad.

Es imposible moverte hacia arriba.

Cuando empiezas a preguntarte si existe algo peor que esto, las fuerzas de marea comienzan a causarte dolor. El efecto gravitacional que provoca la presencia invisible del agujero negro ahora empieza a tirar hacia abajo de tus pies más que de tus brazos y tu cabeza. La gravedad del agujero negro va estirando tu cuerpo. Vas a acabar igual de alargado que un espagueti.

Incluso si el traicionero robot te hubiese equipado con el propulsor de cohetes más potente jamás inventado, tu situación no habría cambiado lo más mínimo.

Da igual el motor, ya que si intentarás moverte hacia arriba desde el horizonte de sucesos de un agujero negro, te sentirías como si estuvieras impulsándote a través del resbaladizo y estirado tejido del espacio-tiempo, como si estuvieras ejercitándote en una máquina de correr infinita y cuya velocidad siempre es, con un gran margen, mayor que la tuya, y que te empuja hacia atrás.

Según Penrose y Hawking, te atrae la singularidad del espacio-tiempo que está allí, en algún sitio; una singularidad que nunca podrá verse desde el espacio exterior. Como la luz no puede escaparse del horizonte, la singularidad permanece invisible. Allí abajo, las nociones de espacio y tiempo se descomponen, igual que poco antes del Big Bang. Nadie podrá mirar dentro del núcleo de una singularidad y vivir para contarlo. Es como si estos lugares tuvieran que permanecer ocultos para siempre.

Según la relatividad general, ni tú, ni ninguno de los átomos de los que estás compuesto, conseguirá salir jamás de allí.

Un triste pensamiento, especialmente ahora que estás completamente desgarrado, reducido a un largo filamento hecho de todas las partículas que alguna vez constituyeron tu cuerpo.

Un triste pensamiento, desde luego, pero es que no debería confiarse en la relatividad general allí abajo.

Porque debemos recordar que la relatividad general no es una teoría de los campos cuánticos.

Y en el momento en que se te ocurre esta idea, la esperanza regresa inmediatamente a tu ser y vuelves a tu estado de mini tú.

Y esperas.

Al principio, no ocurre nada.

Pero entonces, sorprendentemente, observas cómo todas las partículas elementales que componen tu ser desaparecen.

O saltan, para ser más precisos.

Un salto cuántico, de hecho.

Y ahora ya no están.

Están fuera del agujero negro, donde, afortunadamente, se recomponen para formar tu mini tú.

Y el robot está allí para recibirte.

En este momento te entran ganas de ir a por él e intentar romperle el tubo metálico por haberte disparado a través del horizonte de sucesos del agujero negro pero, antes de que puedas hacer nada, la voz metálica del robot te habla:

—Llevo esperándote unos 10 000 millones de años. Me alegra que me reconozcas.

De repente ya no tienes tantas ganas de hacerle daño. Y, además, hay cosas más importantes en las que pensar. Sobre todo, el hecho de que acabas de experimentar un ejemplo de cómo interactúan la gravedad y los campos cuánticos.

A tu alrededor, las estrellas vuelven a moverse de forma tan lenta que resulta imperceptible. Han pasado 10 000 millones de años desde que cruzaste (perdón, te empujaron a través de él) el horizonte de sucesos del agujero negro. Miras la mancha negra del espacio de la que te has escapado milagrosamente. A primera vista no parece haber cambiado nada; pero ahora sabes qué hay que mirar, es como si te hubiesen quitado un velo y ahora pudieses ver de verdad. Las partículas se escapan del agujero negro y se alejan, radiantes, como si el oscuro monstruo se evaporase.

Piensas que es probable que eso hubiera estado pasando todo el tiempo, aunque no te habías dado cuenta antes. Pero ¿cómo es posible?

Como dijo Richard Feynman, uno solo entiende de verdad un fenómeno cuando puede dar muchas explicaciones diferentes para que ocurra.

Así que, mientras tú y el robot observáis cómo las partículas se esparcen por el universo, te voy a dar cuatro razones por las cuales los agujeros negros dejan escapar partículas. Todas están relacionadas con un proceso con el que ya te has enfrentado.

La primera razón es la más sencilla.

Como sabes, las partículas cuánticas pueden tomar prestada la energía de sus campos. Y también pueden hacer esto cuando están dentro del horizonte de sucesos de un agujero negro. Con esta energía prestada, son capaces, por un instante, de moverse más rápido que la luz. Aunque sea tan poco tiempo, es el suficiente como para realizar un salto cuántico fuera de la zona de no retorno del agujero negro. Esto es lo que hiciste con tu mini tú. Se trata de un proceso cuántico.

Todas las razones para entender qué te ocurrió son esencialmente cuánticas y conllevan la habitual advertencia de las autoridades sanitarias, porque, al igual que mucho de lo que has visto ya en el mundo cuántico, podrían sonar absurdas.

La segunda razón tampoco es una excepción: podrías pensar que todas las partículas que cayeron a través del horizonte del agujero negro no cayeron a través de él. Cayeron y no cayeron. De todos los posibles caminos que una partícula —entendida como una onda— podría tomar mientras cae, la mayoría de ellos no son válidos, porque hay más espacio fuera de un agujero negro que dentro de él. De forma sorprendente y según esta idea, que ha sido estudiada con mucha atención, el agujero negro se evapora de la misma manera que en la primera razón expuesta.

La tercera razón es la siguiente: debido al horizonte de sucesos que los separa entre sí, el vacío dentro del horizonte del agujero negro es diferente del vacío de fuera de él, de tal forma que algún tipo de fuerza del vacío, un efecto Casimir, empujaría al horizonte hacia dentro y provocaría la contracción y la evaporación del agujero negro. Esto, de una manera bastante milagrosa, nos lleva otra vez al mismo resultado que antes.

La cuarta y última razón que expondré aquí es que la creación de un par partícula-antipartícula ocurre cerca de todos los horizontes de los agujeros negros; las antipartículas se forman con más frecuencia que las partículas, de igual manera que no hay más partículas que antipartículas a nuestro alrededor. Una vez ha cruzado el horizonte de sucesos, la antipartícula se dirige hacia una partícula para destruirla, lo que provoca la desaparición de ambas, mientras que solo una partícula se quedaría fuera: la partícula que fue creada originalmente con la antipartícula, la gemela de la partícula que acaba de ser destruida dentro. Una vez más, llegamos al mismo resultado.

Todos estos son efectos cuánticos de los que has sido testigo antes, pero que aquí tienen lugar en la proximidad de un agujero negro. Y todos llevan a la misma conclusión: los agujeros negros se evaporan. Dejan escapar materia.

Mientras observas el brillo del agujero negro, te das cuenta, por lo tanto, de que este monstruo cósmico, que ha estado engullendo estrellas enteras durante eones, ya no es negro, sino más bien gris. Y se está encogiéndose.

Es incluso más sorprendente el hecho de que cuantas más partículas escupe, parece que se vuelva más caliente, y que cuanto más caliente se vuelve, más partículas escupa. Un círculo vicioso que solo puede llevar a una muerte inexorable.

La muerte de un agujero negro.

Aunque resulte imposible de creer, el agujero negro que estás observando se *encoge*, y emite algún tipo de radiación. La energía espacio-tiempo almacenada en su interior, tras haberse tragado mundos enteros, se devuelve ahora al espacio exterior, partícula a partícula, como si, al igual que la desintegración radiactiva, la función de los agujeros negros fuese la de descomponer moléculas para darle a las partículas una segunda oportunidad...

Todos los campos cuánticos de la naturaleza, excitados por lo que es nada menos que el objeto gravitacional más poderoso conocido del universo, se aprovechan de esta inesperada bonanza para cargarse de energía. Mientras el agujero negro va aumentando su temperatura, sus partículas elementales —las cuales habían permanecido dormidas hasta ahora— despiertan y se proyectan. Ves cómo ocurre. Y cuanto más pequeño se vuelve el agujero negro, mayor es la excitación de los campos y más cargadas de energía están las partículas que se disparan. La energía gravitacional se transforma, una vez más, en materia y luz.

Mientras todo esto se desarrolla delante de tus ojos, te das cuenta de que es lo contrario a los principios terrestres: una taza de agua caliente, en la Tierra, no se calienta mientras se evapora. Normalmente se enfría. Si no fuera así, olvidarse una taza de café caliente en una mesa podría causar un desastre. Las noticias de la noche estarían llenas de historias del tipo: «Una vez más ha ocurrido que otra taza de café ha prendido fuego a una mesa y ha causado un incendio en todo el edificio. Por favor, no se olviden de depositar siempre sus bebidas calientes en el contenedor adecuado».

Los agujeros negros son aparentemente distintos de las tazas de café. Cuanto más se evaporan, más se encogen y más calientes se vuelven. Nadie sabe qué es lo que pasa al final de este proceso. ¿Desaparecen los agujeros negros con un estallido final? ¿O permanece un misterioso y diminuto remanente con unas propiedades particulares? Para poder pensar en una respuesta, habría que conocer primero cuáles son las leyes que rigen la

singularidad que se esconde dentro. Los científicos han estado buscando estas leyes desde 1975.

Fue justo en ese año cuando Stephen Hawking descubrió, sobre el papel, que los agujeros negros se evaporan.

Al principio, ni él mismo podía creerse sus propios cálculos. Parecía que la luz era capaz de salir de un lugar donde se suponía que ninguna luz podría siquiera brillar. Así que rehízo sus cálculos. Y los volvió a hacer otra vez más. Solo para comprobar que la luz y las partículas eran realmente capaces de encontrar la salida de los agujeros negros. Publicó su descubrimiento en la revista *Nature* y, de la noche a la mañana, se hizo famoso en todo el mundo, más allá de los círculos científicos. Los agujeros negros se evaporan debido a los efectos cuánticos. Cualquier cosa que caiga dentro de un agujero negro *no* está condenada a quedar atrapada en su interior para siempre. Consigue salir, aunque no de una forma reconocible. Al ser capaces de evaporarse, los agujeros negros se comportan como si tuvieran temperatura, la cual es conocida hoy en día como *temperatura de Hawking*.

Cuando observas a un agujero negro irradiar la última energía que le queda, sabes que lo que de verdad está pasando es que lo más grande y lo más pequeño están hablando, como, por supuesto, deberían hacer. La radiación de los agujeros negros es la única prueba disponible de que nuestras teorías podrían reflejar la naturaleza a este respecto. Es la pista que nos dice que la teoría de la gravedad cuántica podría ser válida después de todo. Cualquier otro aspirante serio a alcanzar el mismo estatus deberá predecir la radiación de Hawking y la evaporación de los agujeros negros: el camino completo hasta la muerte de un agujero negro.

—Los agujeros negros pueden morir —dices en voz alta sin creértelo demasiado.

—Como todo lo demás en este universo —responde el robot.

Pero, a finales de la década de 1970, el descubrimiento de Hawking también condujo a una afirmación bastante extraña e inquietante. Hawking, con la ayuda de su fórmula de la radiación, intentó extraer y descifrar, a través de la radiación que había descubierto, alguna información sobre cómo se crea un agujero negro. Para facilitar el proceso, partió de un agujero negro ya formado y le lanzó diferentes materiales para observar cómo cada uno de

ellos afectaba a la radiación subsecuente. De manera sorprendente, no hubo diferencia alguna. Nada en la radiación emitida indicaba qué era lo que le había lanzado, aparte de su masa. Daba la impresión, basada en los datos de su observación, de que los agujeros negros simplemente borraban todas las características de lo que se tragaban. Esto es, solo se salvaba la masa. Aunque arrojaras unos cuantos seres humanos, un montón de libros, una roca o un diamante, si resultaba que todos tenían la misma masa inicial, se evaporarían de la misma manera. Según Hawking, a los agujeros negros le sabrían igual los seres humanos, los libros y las piedras. Para todos nosotros, esto quiere decir que, para los agujeros negros, nuestra masa es lo único que tiene un significado, lo que algunos podrían encontrar un poco reduccionista. Para los científicos, sin embargo, esto supuso una catástrofe filosófica.

Hasta el trabajo de Hawking, se suponía que los agujeros negros engullían todo lo que cruzaba su horizonte y crecían, y esto no creaba ningún problema. Nada de lo que cae dentro se pierde. Simplemente se queda almacenado detrás de un horizonte de sucesos, de donde es difícil (realmente es imposible, pero no importa) recuperarlo desde fuera.

Pero si los agujeros negros evaporan información borrada nos enfrentamos a un hecho preocupante: las cosas empiezan a desvanecerse de la realidad. Como la *radiación de Hawking*^[54] es independiente de lo que cae dentro, estos monstruos oscuros se convierten en apagones de memoria de nuestro universo. Y una vez que los agujeros negros han evaporado su pasado, no es que sea difícil o imposible acceder a lo que tenían almacenado, es que simplemente ya no está. Se ha ido. La ciencia estaba buscando una teoría del todo, que pudiera explicarlo todo en una sola fórmula, y el primer resultado obtenido a este respecto supuso todo un golpe para la ciencia en su conjunto. La ciencia, incapaz para siempre de recuperar el pasado perdido en los agujeros negros, debía desistir de poder describir y entender algún día la historia completa del universo. La radiación de Hawking no suponía el final de la física cuántica o la relatividad general, pero sí el final de la física como un medio para descubrir el origen el universo. Este problema fue apodado la *paradoja de la pérdida de información en agujeros negros*.

Hoy en día, los físicos están más familiarizados con las estimaciones en bruto en las que Hawking se basó para alcanzar su resultado. Pero cuarenta años después de su descubrimiento, cuando Hawking me pidió trabajar con él en esto, el problema seguía envuelto en el misterio. Aunque ahora hay indicios de que se ha encontrado una posible salida, ya que si aplicamos nuestros conocimientos del mundo cuántico a los agujeros negros, estos

podrían, o no, estar allí. Lo que vas a descubrir en la siguiente y última parte de este libro es hacia dónde han llevado estas ideas a los científicos.

Sin embargo, ahora, desde el futuro a unos desconocidos miles de millones de años, te acuerdas de repente de la sospechosa felicidad del robot cuando te vio reaparecer fuera del agujero negro. ¿No te preguntaste en ese momento por qué estaba tan contento de que le hubieras reconocido?

Pensaste que era sincero, ¿verdad? Pero lo más probable es que no lo fuera y conoces el motivo: el robot no estaba seguro de que pudieras recordar lo más mínimo. No sabía si el agujero negro había borrado o no la información contenida en tu cuerpo y mente. Entonces, cuando lo reconociste y quisiste hacerlo trizas por haberte empujado, él lo supo...

Supo que lo habías recordado todo, que, en tu caso, la información no se había perdido, incluso aunque no recordaras haber viajado marcha atrás a través del horizonte del agujero negro.

Te acuerdas de haberte convertido en un conjunto de partículas fundamentales. Y después de estar fuera.

Entremedias se produjo un salto cuántico, o algo más.

Entender cómo ha podido ocurrir precisamente esto es justo lo que una buena teoría de la gravedad cuántica debería ser capaz de explicar. Y como es justo lo que vas a empezar a explorar dentro de poco, déjame hacer hincapié en el hecho de que, desde que ha empezado esta parte del libro, has entrado de lleno en un mundo teórico. Ni la materia oscura, ni la energía oscura ni tampoco los agujeros negros han podido ser nunca creados en un laboratorio: su evaporación no ha podido ser constatada en ningún experimento, directa o indirectamente. De haber sido así, Hawking ya habría recibido el premio Nobel.

Para empezar, la evaporación de los agujeros negros es bastante difícil de detectar.

¿Cómo de difícil?

Veamos.

Tomemos el Sol.

Para que se convirtiera en un agujero negro, tendrías que comprimirlo hasta alcanzar una esfera de 6 kilómetros de ancho. Esto equivale a unos dos tercios del diámetro de Londres.^[55] La mayoría de los agujeros negros presentes en el universo nacen cuando mueren las estrellas gigantes, por lo que deberían ser más grandes que eso (el Sol no es una estrella gigante). Ahora, supongamos que uno de estos agujeros negros hechos de *masa solar*, después de engullir todo lo que le rodeaba, ha permanecido tranquilo y solo

en algún sitio muy alejado de todo. Su temperatura de radiación, su radiación de Hawking, debería ser, aproximadamente, una diezmillonésima parte de un grado sobre el cero absoluto (y el cero absoluto son unos -273.15 °C).

Una diezmillonésima parte de un grado no es mucho. Es difícil medirlo de una forma exacta. Pero este no es el problema principal.

El principal problema radica en que es bastante menos que los 2,7 grados de la radiación de fondo de microondas que baña todo nuestro universo visible. Como resultado, no creemos que los agujeros negros hechos de masa solar se estén evaporando en estos momentos. De hecho, hasta ahora nunca se les ha visto hacerlo. Siempre han estado ocultos, alimentándose del remanente de calor de la era del Big Bang.

Y como cuanto más pesado es el agujero negro, más baja es su temperatura, la situación empeora para los enormes monstruos supermasivos que se alojan en el centro de la mayoría de las galaxias de nuestro universo. Su radiación de Hawking es incluso más fría que la de los agujeros negros de masa solar, eso sin mencionar que, además, están rodeados de anillos de materia extremadamente calientes.

Lo que haría que Hawking recibiera un premio Nobel podría hallarse en el mundo de lo diminuto, ya que allí los agujeros negros serían muy pequeños y, por lo tanto, muy calientes.

Por desgracia, todavía seguimos teniendo un problema: los científicos están bastante seguros de haber avistado agujeros negros gigantes, pero nunca han visto ni rastro de ninguno pequeño. No importa. Vamos a asumir que están ahí. ¿Podríamos hacer algo con ellos en la práctica?

Para averiguarlo, permíteme introducir un breve paréntesis que arrojará algo de luz sobre lo que antes llamé el muro de Planck.

A principios del siglo xx, uno de los científicos más impresionantes de todos los tiempos fundó lo que hoy llamamos la física cuántica. Era alemán, igual que Einstein, y se llamaba Max Planck. Recibió el premio Nobel de física en 1918.

A partir de sus propios descubrimientos, Planck entendió que había una escala a partir de la cual no se podían ignorar los efectos cuánticos. Toma un objeto grande, y todo va como la seda. La comprensión de la naturaleza de Newton puede aplicarse a esto, y todo lo que se espera de ello corresponde con la realidad a la que estamos acostumbrados en nuestro día a día. Pero reduce ese objeto a tamaños cada vez más pequeños y la visión de Newton

empieza a venirse abajo. Newton, permíteme volver a recalcarlo, encontró una forma de describir el mundo a una escala con la que estamos familiarizados en nuestra vida cotidiana. Coincide con nuestro sentido común. Para el mundo de lo muy grande y lo muy energético, la visión de Einstein se pone al mando. Para lo muy pequeño, se aplica la de Planck. Ahí debemos considerar el mundo cuántico. Y existe una constante de la naturaleza que nos permite estimar cuándo sucede eso. Se denomina *constante de Planck*.

La constante de Planck está al mismo nivel que las dos otras constantes universales de la naturaleza: la velocidad de la luz y la constante gravitacional, que nos dice cómo se atraen entre sí dos masas.

Un día, Planck empezó a jugar con esas constantes y obtuvo tres cosas a partir de ellas. Una de ellas era una masa. Otra, una longitud. Y la tercera, una unidad de tiempo.

La masa resultó ser equivalente a 21 microgramos. 21 millonésimas partes de un gramo. Se denomina *masa de Planck*.

La longitud fue de una milésima de una millonésima de una milmillonésima de una milmillonésima de una milmillonésima de metro. Se denomina *longitud de Planck*.

El tiempo fue de una millonésima de una milmillonésima de una milmillonésima de una milmillonésima de una milmillonésima de segundo. Se denomina *tiempo de Planck*.

¿A qué corresponden?

Corresponden a las escalas más allá de las cuales ni la gravedad ni la física cuántica pueden usarse independientemente la una de la otra. Son los umbrales a partir de los cuales se necesita de la física cuántica para explicar lo que está pasando, aunque algunos efectos de la gravedad cuántica aparecen antes de alcanzar estas magnitudes.

¿Esto qué significa en la práctica?

Bien, significa que las magnitudes de Planck indican el tamaño del agujero negro más pequeño que puede llegar a existir.

Así que el agujero negro más pequeño que la ciencia actual puede imaginar pesa unos 21 microgramos. Curiosamente, nuestras mentes sí son capaces de asimilar ese peso. No parece tan impresionante. Pero es gigantesco si lo comprimimos en el volumen espaciotemporal más diminuto que existe: una esfera con un diámetro de una longitud de Planck. Un agujero negro así desaparecería en una... millonésima de una milmillonésima de una milmillonésima de una milmillonésima de una milmillonésima de segundo. El tiempo de Planck.

Suponiendo que fuéramos capaces de medir cosas tan minúsculas que suceden tan rápido, tendríamos que crear un agujero negro con la masa de Planck para estudiarlo. Pero con nuestra tecnología actual, un acelerador de partículas con la suficiente potencia para crear semejante agujero negro mediante la colisión de partículas a alta velocidad debería tener el tamaño de nuestra galaxia. Huelga decir que está muy por encima de nuestras posibilidades y dudo que nadie quiera empezar a construir un dispositivo así (además de Hawking, por razones evidentes). Sin embargo, podemos consolarnos con el espacio exterior, donde pueden detectarse agujeros negros así de diminutos mientras expulsan sus últimos restos de energía. Pero salvo que algún fenómeno desconocido hasta la fecha nos indique dónde y qué buscar, habría que tener una suerte extraordinaria para detectar uno directamente.

Sin embargo, nadie duda de que la radiación de Hawking exista. Y eso significa que hay una nueva realidad que se avecina desde algún lugar: una realidad cuántica que contiene el espacio y el tiempo.

Y es a partir de esto, como verás ahora, de donde ha surgido la imagen más extraordinaria de nuestro universo en las mentes de algunos de los científicos más brillantes de la actualidad.

Séptima parte
Un paso más allá de lo conocido

1

De vuelta al inicio

Tal como has podido comprobar por ti mismo, el universo *visible* no es infinito y la Tierra está, tú estás, en su centro. Esto es un hecho práctico y la clave está en el término «visible»: la luz que te llega desde cualquier dirección te trae información de un pasado tan distante como el que llega desde cualquier otra dirección. Esto es lo que hace que el entorno cósmico parezca esférico, pero no significa que el universo entero lo sea, sino que la porción que tú puedes *ver* sí que es esférica. La luz más antigua que te alcanza a ti hoy abandonó la superficie de última dispersión, la frontera del fin del mundo *visible*, hace unos 13 800 millones de años, cuando el universo se enfrió lo suficiente para volverse transparente. Se sabe que, en el instante de la última dispersión, el universo tenía unos 380 000 años y se encontraba a unos 3000 °C. Tras ella, se expandió y se enfrió. Antes, era más pequeña y estaba más caliente.

Por tanto, el universo visible es una esfera alrededor de la Tierra, formada por todos los pasados que nos llegan hasta hoy. El límite más externo de esa cebolla compuesta de capas-épocas, el límite de nuestros pasados observables, es también su primera parte visible, el momento de la historia de nuestro universo en el que la luz quedó libre para viajar sin el lastre de la materia. Has estado ahí y lo has visto. Incluso lo has cruzado. Pero hay algo peculiar en él. Algo muy, pero que muy peculiar en lo que tal vez no te fijaste en ese momento.

¿Recuerdas que, observando el cielo nocturno, tus amigos equipados con un telescopio de mil millones de libras descubrieron que la radiación que llena nuestro universo es prácticamente la misma independientemente de en qué parte del profundo firmamento negro se origine? Esta radiación, la radiación de fondo cósmico de microondas, anunciaba el triunfo de la teoría

del Big Bang. Fue la prueba de carga empleada para demostrar que, en el pasado, nuestro universo había sido más pequeño y muchísimo más caliente. Sin embargo, ni tú ni tus amigos os fijasteis en que esta radiación era demasiado uniforme en relación con lo que cabría esperar de la expansión de nuestro universo. Como pronto verás, esta extraordinaria uniformidad es una de las razones por las que los científicos introdujeron la idea de la era de la inflación cósmica que tuvo lugar antes del Big Bang, y que justamente lo provocó, 380 000 años antes de que el universo se volviera transparente.

Y tal como verás ahora, con esto se sientan las bases ya no de un Big Bang, sino de la posibilidad de una infinidad de ellos.

Pide a todos los habitantes de tu barrio que apaguen las luces por la noche y acomódate en una tumbona a mirar el cielo. Aunque es demasiado débil para que tus ojos la perciban, estarán recibiendo luz de las profundidades del espacio, de la radiación de fondo cósmico de microondas. Si sigues observando el tiempo suficiente y con el equipo adecuado, puedes mapearla y acabar obteniendo una imagen bastante uniforme que muestra a una temperatura de $-270,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ en todas partes, 2,73 grados por encima del cero absoluto. Ahora coge tu tumbona y vete al punto opuesto exacto de la Tierra, a lo que se conoce como las *antípodas*. Si comenzaste la observación en algún lugar del Reino Unido, ahora te encuentras en medio del Pacífico. No hay luces a tu alrededor. Estás en una balsa, con tu tumbona, mirando al cielo de nuevo y recibiendo la luz que te baña después de un viaje de 13 800 millones de años a través del universo.

De nuevo, $270,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ negativos.

Exactamente la misma temperatura. La radiación de fondo cósmico de microondas.

Pero no hay absolutamente ninguna razón por la que tenga que ser así en todas partes. De hecho, esa posibilidad no debería existir...

La radiación de fondo cósmico de microondas que te alcanzó en el Reino Unido se originó en una parte del universo visible. La que te llegó en el Pacífico venía de la dirección opuesta. Los orígenes de esta luz son tan remotos entre sí (el doble de 13 800 millones de años luz) que, a menos que ocurriera algo extraño en algún punto, no hay forma de que pudieran haber estado en contacto en algún momento del pasado de nuestro universo.

Por lo tanto, no deberían tener la misma temperatura.

Para comprender lo extraño que es este hecho, coge una taza de café caliente y llévala a la sala de estar.

En principio, a menos que vivas en un horno, tu sala de estar debería estar más fría que el café, pero si esperas lo suficiente, la taza y la habitación acabarán teniendo la misma temperatura. Es decir, alcanzarán una temperatura de equilibrio. Como has podido comprobar varias veces a lo largo del libro, el café siempre acaba demasiado frío para que puedas disfrutar de su sabor.

Ahora coge la taza, métela en la nevera y cierra la puerta. Al cabo de un rato, alcanzará una temperatura de equilibrio. Más fría aún.

Si te vas a un desierto cálido con el mismo café, la temperatura de equilibrio será otra. Más caliente, esta vez.

Todo esto parece normalísimo. Nada raro.

Ahora sírvete otra taza de café caliente y vuélvela a dejar en la sala de estar. Es muy poco probable que acabe teniendo la misma temperatura que el interior de un frigorífico en Japón.

No hay ninguna razón para que dos objetos o lugares que nunca jamás han estado en contacto y que ni siquiera conocen la existencia del otro acaben teniendo la misma temperatura. Sería una suposición lógica, ¿no es así? Tan lógica que debería aplicarse también al espacio exterior.

Para que dos partes diametralmente opuestas del cielo nocturno hayan alcanzado exactamente la misma temperatura de $-270,42\text{ °C}$ tras 13 800 millones de años de existencia por separado, *tienen* que haber estado en contacto de algún modo en un momento del pasado. Pero, teniendo en cuenta la edad del universo y su ratio de expansión, eso no es posible, porque las partes están demasiado alejadas para haber estado alguna vez en contacto. Salvo que se hubiera producido un fenómeno muy, pero que muy, extraño.

Como que se hubiera superado la velocidad de la luz, por ejemplo.

Desafortunadamente, para una señal (en el sentido de algo que transporta información de un lugar a otro, sea cual sea su forma) eso es imposible. Aquí no hablamos de procesos cuánticos, de modo que las señales, independientemente de su composición, no pueden viajar más rápido que la luz. Es totalmente imposible.

Aun así, la temperatura de la radiación de fondo cósmico de microondas es la que es: demasiado similar para ser una coincidencia. ¿Cómo es posible?

Pudiera ser que el espacio-tiempo —el universo en sí— creciera a mayor velocidad que la luz en algún estadio del pasado.

Y eso es lo que viste cuando viajaste en el tiempo a un momento anterior al Big Bang, cuando te introdujiste en la *era de la inflación*, cuando el campo inflatón llenaba el universo.

El físico teórico estadounidense Alan Guth, el cosmólogo ruso Alexéi Starobinski y el físico teórico ruso-americano Andréi Linde fueron los primeros en sugerir la idea de un universo incipiente inflacionario en su forma más moderna en la década de 1980. El concepto básico sostiene que hace mucho tiempo, antes incluso de que la materia, la luz o cualquier otra cosa que ahora conocemos existiera, más allá del universo observable, antes del Big Bang, había un campo que llenaba el universo con una fuerza antigravitatoria de repulsión. Este campo era tan extraordinariamente poderoso que desencadenó un período de expansión extrema, una expansión que separó las diferentes partes del universo incipiente a un ratio muchísimo más rápido que la velocidad de la luz, lo que explicaría que lugares que hoy nos parecen demasiado alejados entre sí puedan haber estado realmente en contacto en el pasado.^[56]

Así es como se introdujo el concepto del campo inflatón.

Pero ¿esto es real? ¿Podemos detectar algunas de sus partículas fundamentales como en todos los demás campos cuánticos?

Si es real, la mayor parte de sus partículas deben de haber desaparecido hace mucho tiempo (al provocar el Big Bang), pero no deberían haberse esfumado por completo. De algún modo, el campo inflatón debería seguir ahí, llenando el universo entero, agazapado en una de sus formas menos energéticas, un vacío que, por falta de energía suficiente, apenas recibe el estímulo suficiente para producir y mostrar sus partículas.

Las partículas de este campo se denominan inflatones y (todavía) no han sido detectadas. Sigue habiendo muchos científicos convencidos de que lo que realmente pasó se acerca bastante a un campo inflatón y, puesto que, personalmente, me gusta mucho la idea, vamos a tomárnosla en serio y vamos a ver cómo sería la historia del universo que contuviera este campo.

Para empezar, el campo inflatón hizo un muy buen trabajo al separar las diferentes partes de nuestro universo visible a tal velocidad que, a pesar de haber estado en contacto una vez, no deben de haberse vuelto a encontrar desde entonces —y probablemente, no lo harán nunca más.

Entonces, a partir de una extraordinaria cantidad de energía liberada por la destrucción del campo inflatón, se produjo el Big Bang, surgieron todos sus campos, partículas y portadoras de fuerza, y se hizo la calma.

Después comenzó la expansión de nuestro universo. Una expansión normal. No una inflación superveloz.

El campo inflatón no se desvaneció por completo, pero empleó demasiada energía para desencadenar el Big Bang y ya no tuvo ningún efecto más sobre nada hasta... 8000 millones de años después.

8000 millones de años después del Big Bang, tras 8000 millones de años de crecimiento sostenido del universo, la materia que creó el campo inflatón se había diluido lo suficiente para que su vacío volviera a despertar con un efecto espectacular: su fuerza antigravitatoria desencadenó una expansión acelerada del universo.

La detección experimental de esa aceleración en 1998 hizo ganar el premio Nobel de física de 2011 a Perlmutter, Schmidt y Riess.

Por supuesto, el modo en que el campo inflatón influye actualmente en el comportamiento de nuestro universo no es nada en comparación con la dispersión producida antes del Big Bang, durante la *era de la inflación*. Aun así, puede ser el responsable del futuro que le espera a nuestra realidad.

Las partes antípodas del universo, tal como las vemos desde la Tierra hoy en día, están demasiado lejos para haber estado en contacto anteriormente, pero resulta que sí lo estuvieron antes del Big Bang. Por lo tanto, las partes antípodas del firmamento nocturno tienen un motivo para parecerse tanto.

Ahora bien, ¿es esta introducción a un nuevo campo, el campo inflatón, solo una salida a un enigma, un truco ingenioso para explicar por qué dos puntos diametralmente opuestos del firmamento nocturno tienen la misma temperatura, o realmente existió tal inflación? ¿Se puede demostrar?

Por increíble que parezca, se puede.

2

Muchos Big Bangs

Hace un tiempo, hiciste un experimento con un gato. El gato de Schrödinger. La idea era encontrar una forma de convertir un extraño comportamiento cuántico microscópico en una realidad macroscópica observable. Bien, pues la inflación también hace eso. Y ahora no necesitamos ningún gato.

Como acabas de ver, en una escala cronológica, la era de la inflación se produjo antes del Big Bang. El campo inflatón convirtió un universo extraordinariamente diminuto en algo macroscópico en una pequeñísima e inimaginable cantidad de tiempo.^[57] Entonces, el campo inflatón y sus partículas fundamentales (los inflatones) se desintegraron en energía pura, según la fórmula $E=mc^2$. Se liberó una cantidad extraordinaria de energía y el universo alcanzó temperaturas increíblemente altas. Así (enmarcado en este escenario) es como se cree que empezó el (caliente) Big Bang, con la excitación de los campos que después se convertirían en eso de lo que hoy estamos todos hechos.

Durante la era de la inflación, el ratio de expansión del universo era tan extraordinario que todas las fluctuaciones cuánticas que podían producirse (y, por tanto, se producían) se congelaban una tras otra. Y lo más extraordinario es que estas fluctuaciones congeladas se aprecian hoy en las imágenes cada vez más precisas de la radiación de fondo cósmico de microondas que toman los científicos.

La inflación predice la increíble uniformidad de la radiación de fondo cósmico que llena el universo, pero esa es una de las razones por las que se creó la inflación al principio, así que no es realmente una predicción.

Por otra parte, también dice que tendría que haber algunas fluctuaciones cuánticas impresas en esta radiación en forma de minúsculas diferencias térmicas entre una y otra dirección. Estas se denominan *anisotropías*.

No se trataba de un hecho conocido, y, sin embargo, dichas fluctuaciones fueron *detectadas*: los astrofísicos estadounidenses George F. Smoot y John C. Mather compartieron el premio Nobel de física de 2006 por detectar experimentalmente tanto la extraordinaria uniformidad de la radiación de fondo cósmico como las ínfimas anisotropías que contiene.

Estas anisotropías son del orden de una milésima de grado Celsius, pero ahí están. Se cree incluso que, después, fueron las desencadenantes de la formación de estrellas y galaxias.

Sin ellas, el universo sería uniforme y no podría formarse jamás una estrella.

Gracias a estas fluctuaciones, existían minúsculas diferencias entre un lugar y otro de nuestro joven universo, algo que la gravedad se encargó de acentuar y amplificar hasta crear las estrellas y todas las demás estructuras de las cuales se compone nuestro cosmos.

Así pues, la inflación mezcla lo muy pequeño con lo muy grande de nuevo, ya que abarca desde las fluctuaciones cuánticas de un estadio muy primitivo del desarrollo de nuestro universo hasta el nacimiento de las estructuras que observamos hoy en él. Apunta incluso a qué podría ser esa misteriosa energía oscura, ya que esta fuerza antigravitatoria podría provenir de la energía de vacío sobrante del campo inflatón.

La inflación explica potencialmente muchos de los misterios inexplicables del espacio exterior. Por eso hay que tomarla muy en serio, y así lo haremos. Llegados a este punto, y puesto que te he mencionado otra consecuencia bastante desconcertante de este escenario, vamos a abordarla.

Tal como se entiende hoy en día, en realidad, el campo inflatón no puede estar parado. No puede ser un campo de un solo uso, que apareció una vez en el origen de nuestro universo y ya está. De hecho, se supone que es el responsable de haber provocado no solo un Big Bang, sino muchos. Infinitos.

Como todos los campos cuánticos, el campo inflatón debería estar sujeto a fluctuaciones cuánticas que le permitan saltar de un estado de vacío a otro. Normalmente, en los campos que has visto hasta ahora, este tipo de procesos hace que las partículas sean capaces de saltar de un lugar a otro, o de aparecer de la nada. Aquí, sin embargo, significa que el campo es capaz de crear un pequeño universo por sí mismo. O dos. O muchos. En cualquier parte. Y cuando digo en cualquier parte, quiero decir justamente eso, a pesar de que eso implique (o no) períodos de tiempo enormes. Este proceso recibe el

nombre de *inflación eterna*. No se detiene jamás. Aparecen universos burbuja en universos ya existentes, allí donde los vacíos cuánticos del campo inflatón saltan a otro vacío, a otro estado. Son como gotas de aceite sobre la superficie de un lago. Se expanden. Se expanden. Se expanden... Y, después, otras gotas se forman en el interior de ellas.

Universos burbuja dentro de universos burbuja dentro de universos burbuja.

He aquí un ejemplo de multiverso, aunque distinto de los que ya habías visto.^[58] En un escenario así, tú y yo viviríamos en un universo tipo burbuja y podría haber otras burbujas a punto de aparecer dentro de nuestro espacio-tiempo en algún momento de un futuro lejano, tal como podría haber surgido el nuestro de otra burbuja, la cual ahora sería mucho más grande y tal vez estaría algo dañada o vacía. La posible muerte fría de nuestro universo visible en el futuro podría ser, por consiguiente, el molde necesario para el crecimiento de nuevos universos burbuja...

De acuerdo.

Volveremos a echar un vistazo a estos raros universos que surgen como burbujas cuando recorras el paisaje de la teoría de cuerdas al final de este libro. Mientras tanto, puede —y debería— que la inflación eterna te parezca una completa locura (y es normal, a mí también me lo parece, pero me gusta), pero debes saber que, comparada con la teoría de cuerdas que estás a punto de conocer. En fin, con ella creerás que el concepto de la cordura se ha perdido por siempre jamás... Lo mejor es que consideres los universos burbuja que acabas de ver como una introducción a lo que verás en tu viaje final. Sin embargo, antes de adentrarnos ahí, antes de volver al universo visible para descubrir dónde se esconden esas famosas cuerdas, qué son exactamente y qué implicaciones tienen sobre nuestra realidad, vamos a ver si podemos ir más allá de la inflación con lo que hemos aprendido hasta el momento.

A los que se preguntan cómo se originó el universo, puede que el escenario de la inflación eterna no les parezca una muy buena respuesta, porque, en realidad, no hay un principio, sino que, constantemente, van apareciendo burbujas.

Pero puede haber otras posibilidades.

No te las puedo enumerar todas aquí, pero mencionaré una: el principio histórico.

3

Un universo sin límite

La era de la inflación tuvo lugar antes del Big Bang.

Con la inflación *eterna*, han nacido, nacen y nacerán infinitos universos continuamente, y el nuestro es solo uno más. Imaginemos ahora que hay *un* universo con *un* «origen» (signifique eso lo que signifique) y *una* era de la inflación.

Rebobinamos el tiempo y empezamos en el Big Bang.

Se produce el Big Bang: *bum*.

Y antes de eso, se produce la inflación, que, vista en retrospectiva, es un colapso espectacular.

Y bien, ahí nos encontramos con el problema.

El muro de Planck, la era de Planck, donde y cuando el espacio y el tiempo dejan de tener sentido.

El muro de Planck se sitúa entre unos 380 000 años antes de la superficie de la última dispersión (la superficie del confín del universo) y, si se nos permite la apreciación, alrededor de un tiempo de Planck tras lo que podríamos denominar el *tiempo cero*.^[59] Pero no se nos permite la apreciación, porque, desde nuestro universo, no podemos llegar al tiempo cero. No podemos hablar de un tiempo donde (o cuando) el tiempo no existe. Hablar de *antes* o *después* de la era de Planck no tiene sentido. Para ello, se necesita la gravedad cuántica, con su desconocida cantidad de nuevos conceptos que sustituyen el espacio y el tiempo por cosas cuánticas. Una tarea ardua, comparable a la búsqueda de una condición inicial para la existencia de nuestra realidad. Ardua, pero no imposible. Stephen Hawking y el físico teórico estadounidense James Hartle abordaron precisamente ese problema hará unos treinta años. Fueron los primeros en hacerlo. Y ahora verás lo que hicieron.

Imagínate tu mini tú en un universo muy joven. Un universo en el cual el espacio y el tiempo justamente empiezan a cobrar sentido. Es minúsculo. Un poco más grande que una longitud de Planck, pero no mucho más. Estás dentro y también eres diminuto.

Y no ves demasiado.

Todo lo que ocurre a una escala menor que una longitud de Planck está más allá del espacio y el tiempo y, por lo tanto, queda oculto a tu vista.

Y ahí estás tú, más minúsculo que minúsculo, en el interior de un universo extraordinariamente joven, casi como un ciego, pero... espera... ¿Acaso no te recuerda esto a otras situaciones con las que ya te habías encontrado?

Cuando visitaste el mundo cuántico, ¿no te pasaste al modo yogui para poder interactuar con lo que había allí con los ojos cerrados y acceder así a lo que quedaba oculto a tu vista? Cuando sondeaste las partes internas de los átomos, *tuviste* que usar el modo yogui para comprender lo que estaba ocurriendo a tu alrededor. Y, mientras intentabas dar sentido a lo que descubriste de ese modo, aprendiste que, en el mundo cuántico, cuando la naturaleza y sus gatos van a su libre albedrío, sin observador, todas las posibilidades cuánticas se dan de modo simultáneo.

Pues aquí aún es peor.

No es que un gato o una partícula sean invisibles, es que todo el pasado de nuestro universo queda oculto tras un muro que marca el origen del espacio y el tiempo tal como nosotros los conocemos. Este muro, el muro de Planck, está ahora por todas partes a tu alrededor y todo lo que está detrás queda oculto a nuestros sentidos.

Según las leyes cuánticas, el muro de Planck oculta una superposición de todas las posibilidades cuánticas.

Pero ¿posibilidades de qué?, te preguntarás.

Pues de pasados.

Lo que se oculta tras el muro de Planck es el propio universo joven en su conjunto, así que seguramente se mantiene ahí gracias a una de las reglas de oro del mundo cuántico: todas las posibilidades pueden existir, y existen, mientras nadie mire.

Hawking aplicó esta idea al universo más incipiente, pero no pudo emplear el tiempo que conocemos y usamos diariamente. A nadie se le permite emplearlo antes de la escala de Planck. Por lo tanto, lo convirtió en otra cosa

más fácil de manipular y que se conoce como *tiempo imaginario*. Gracias a él, Hawking tomó en consideración todos los posibles pasados del universo, todas las historias que no pueden verse desde dentro del propio universo.

La idea se le ocurrió en la década de 1980.

Acababa de descifrar el modo de abordar los agujeros negros cuánticos. Sabía que eran grises y que emitían partículas, conocía la existencia de la gravedad cuántica y su mente empezaba a indagar más allá del Big Bang.

Junto a su colega de la Universidad de California, Santa Bárbara, el físico teórico estadounidense James Hartle, desarrolló una fórmula que, para mí, cambió para siempre la forma en que la mente humana concibe el universo.

Hawking y Hartle asumieron que todos los universos que desembocan en nuestro presente tienen que haber aparecido de la nada (de la nada de verdad, de la nada matemática) en algún tiempo *imaginario* finito anterior.

Y tuvieron en cuenta todos los universos que tenían esa propiedad.

Y los observaron.

Y eran muchos.

Y les aplicaron la regla de oro del mundo cuántico: en lugar de escoger uno que posteriormente evolucionara hasta nuestra realidad, los tuvieron todos en cuenta. Sobre el papel, esto significa que los sumaron todos, con un signo más, y enunciaron que esta operación daba como resultado la descripción del universo en el que vivíamos antes del muro de Planck, tras el cual no podemos ver nada. Su fórmula matemática se conoce hoy en día como *función de onda del universo de Hartle-Hawking* y su condición inicial, la que enuncia que todos los universos posibles que se toman en cuenta surgieron de la nada, se denomina *propuesta de ausencia de límites*.

Desde el punto de vista de estos científicos, el universo, nuestro universo, con todos sus estados posibles de joven universo, no tiene un principio.

Y un tiempo imaginario finito después se convirtió en nuestro universo, momento en el cual el espacio y el tiempo comenzaron a cobrar sentido.

En realidad, el significado exacto de todo esto no tiene importancia aquí.

Lo alucinante es que consiguieran formularlo.

Describieron una condición inicial matemática para todo el universo. Abordaron matemáticamente el problema de la creación del universo a partir de la nada.

Ahora bien, a modo de aviso: la historia no se acaba aquí. Desafortunadamente, seguir casi la práctica totalidad de los cálculos englobados en el marco matemático ingeniado por Hartle y Hawking es increíblemente difícil (por no decir imposible).

Aun así, fueron los primeros en aportar una fórmula matemática para el origen y la subsiguiente evolución de nuestra realidad.

Un hito extraordinario para la humanidad, que lleva miles de años intentando desentrañar las leyes de la naturaleza.

Lo cierto es que nuestra comprensión de estas leyes ha cambiado y mejorado con el tiempo.

Hace un siglo, Einstein concibió una nueva visión de la gravedad y los demás comenzamos a comprender que no debíamos buscar el pasado solo bajo nuestros pies, con excavaciones arqueológicas en la Tierra, sino también en las estrellas. Por aquella misma época, muchos científicos empezaron a descubrir las extrañas leyes cuánticas que rigen en el mundo de lo muy pequeño.

Y después, hace tres décadas, alentados por el resultado de la evaporación de los agujeros negros, Hartle y Hawking comenzaron a encajar el rompecabezas y desarrollaron una fórmula matemática para explicar el origen de todo.

Por supuesto, puede que en el futuro estos conocimientos revelen grandes imperfecciones, y lo mismo podría decirse de todas las ideas que aún no se han podido demostrar con experimentos, pero eso no importa. Lo importante es que la cuestión del origen de nuestro universo ha entrado en una nueva era en la que la física matemática puede por lo menos indagar en el tema.

Con todo, la idea de Hawking de tomar en consideración todos los universos posibles mediante el uso de un tiempo (imaginario) diferente no surgió de la nada. Tiene sus raíces en la obra de algunas de las mentes más brillantes del siglo XX, como por ejemplo Paul Dirac y Richard Feynman, que crearon dicho concepto para construir nuestras teorías modernas de los campos cuánticos.

En un escenario como este, el universo observable sigue siendo una esfera de unos 13 800 millones de años luz de radio. Ese es el tamaño más grande que

podemos sondear y, sin embargo, es curioso pensar que cuando recibimos la luz y las señales que nos llegan del espacio exterior, a medida que profundizamos más y más en el mundo de lo muy grande, además de mirar al pasado, acabamos entrando en el mundo de lo muy pequeño.

Nuestros antepasados desconocían todo esto y ahora verás que lo contrario también puede ser cierto.

Estás a punto de viajar de nuevo al mundo de lo muy pequeño, pero esta vez irás mucho más lejos que nunca. Allí encontrarás una ventana abierta a una realidad completamente nueva, una realidad mayor de lo que hayas podido soñar. Mayor que las burbujas en el interior de las burbujas en el interior de las burbujas de la inflación eterna.

En lo grande se encuentra lo pequeño y ahora también encontrarás lo grande en lo más pequeño.

Pero ¿hacia dónde deberías mirar?

4

Un pedazo inexplorado de realidad

Como ahora ya sabes, todo nuestro universo visible es una esfera de un radio de 13 800 millones de años luz. Desde una perspectiva tan gigantesca, lo primero que se ven son los filamentos de clústeres gigantes de galaxias que nadan entre gases y materia oscura y, a un nivel más fundamental, todos los campos cuánticos que hay. Estos últimos no pueden verse, pero sí sentirse. Son la materia que hace que el universo sea visible. Son el campo de Higgs que confiere masa a todo lo que tiene masa. Son el campo inflatón o la energía oscura que contrarresta la acción de la gravedad y posibilita que el universo se expanda cada vez más rápido.

Y también está la propia gravedad, que hace que todo se acerque más a lo demás.

Estás ahí fuera, mirándolo todo y empiezas a enfocar para ampliar la imagen.

Ahora ves las galaxias, con sus cientos de miles de millones de estrellas. Sus supermasivos agujeros negros centrales proyectan chorros de la luz y la materia más energéticas que existen. Ves que la materia oscura está ahí. Ves cómo evita que las galaxias se desintegren por el efecto de su propia rotación.

Sigues ampliando.

Alcanzas la escala de las estrellas, enormes bolas de plasma ardiente que proyectan la luz que los humanos usamos para sondear el universo distante.

Después vienen los planetas, mundos esféricos demasiado pequeños para convertirse en estrellas.

De un tamaño aún menor, tenemos los asteroides, los cometas y los seres vivos que nuestro planeta cobija bajo 100 kilómetros de atmósfera.

Y finalmente llegan los microbios, las células, las moléculas, los átomos, los electrones y los fotones, los protones y los neutrones, y los quarks y los

gluones.

Sigues ampliando.

Vuelves a estar en el territorio de los campos cuánticos, donde las fuerzas cuánticas sobrepasan el poder de la gravedad.

Sigues ampliando y, entonces, te paras.

¿Recuerdas lo que no funcionaba en los campos cuánticos? ¿Recuerdas la renormalización, el truco que los físicos cuánticos teóricos emplean para librarse de las infinitudes que plagan su trabajo? ¿Recuerdas que los intentos de estudiar la gravedad como si fuera un campo cuántico habían fracasado estrepitosamente, porque las infinitudes que se daban en ese caso no podían eliminarse de ningún modo y hacían que el espacio-tiempo se colapsara por todas partes? Pues ahora tenemos que librarnos de esas infinitudes. Tras ellas, descubrirás una ventana que da a la inmensa nueva realidad que te mencionaba al final del último capítulo. Estás a punto de cruzar esa ventana, pero antes debemos eliminar esas infinitudes tan molestas.

¿Cómo vamos a conseguirlo? Bien, vamos a ver. ¿Qué sabemos del espacio-tiempo? Sabemos que la descripción que empleaban los físicos de principios del siglo xx tenía sus límites. En lo muy grande, ese límite está en alguna parte más allá del Big Bang, antes de la era de la inflación, cuando el universo se encontraba en la era de Planck. Este límite se encuentra a 13 800 millones de años luz en el espacio y el tiempo.

En lo muy pequeño, también existe el mismo límite. Y se da en todas partes.

Si enfocas algo y vas ampliando la imagen, en algún momento acabarás llegando a la escala de Planck.

A menos que algo te lo impida, claro.

Gracias al trabajo de Hawking con los agujeros negros, sabemos que la gravedad no se libra de los efectos cuánticos y que, de algún modo, existe la gravedad cuántica, aunque eso no signifique necesariamente que entendamos lo que eso puede implicar para la realidad dentro de su territorio.

Nuestra capacidad de exploración tiene un límite tanto en el mundo de lo muy grande como en el de lo muy pequeño, y ese límite viene dado por las unidades de Planck.

¿Ha logrado algún experimento alcanzar esos límites de tamaño, energía o tiempo en un laboratorio?

No. Nadie lo ha conseguido. Son unidades demasiado pequeñas, demasiado energéticas y demasiado rápidas. Por el momento, es un límite teórico y, para complicarlo aún más, también es un límite práctico, porque nadie puede alcanzarlo.

Pero ¿por qué?

Porque en el proceso aparecería un minúsculo agujero negro de una longitud de Planck, el que mencionaba al final de la última parte. Para explorar la realidad más allá de ese agujero negro, no habría otro remedio que intentar mandar más energía, más luz con longitudes de onda cada vez más cortas, con la esperanza de que rebotara en algo y revelara su existencia a nuestros ojos. Pero eso no ocurriría. El agujero negro se tragaría la luz, con lo que solo conseguiríamos agrandararlo y ocultar aún más la gravedad cuántica tras él. En otras palabras, hasta donde llega el conocimiento moderno, no se puede explorar nada más allá de la escala de Planck.

Entonces, ¿qué hacemos?

Bueno, podemos tratar de ingeniárnoslas.

Podemos, por ejemplo, sugerir que nada impide que la gravedad cuántica, u otra nueva física, se plante *por debajo de* la escala de Planck.

Con los aceleradores de partículas más modernos y un mejor uso de lo que puede observarse en el cielo, los físicos teóricos están seguros de comprender el comportamiento de la naturaleza a casi todas las escalas, desde las enormes escalas galácticas a aquella en la que todos los campos cuánticos convergen en uno. La escala de la gran unificación. La energía que se requiere es aproximadamente un 1 por ciento de la energía de Planck. Es enorme, por supuesto. Y corresponde a una temperatura de unos cien mil cuatrillones de grados. Pero *no* se trata del límite de Planck.

Seguramente recordarás que la energía y el tamaño están relacionados: cuanto más grande es la energía de una onda, más corta es la distancia entre dos crestas consecutivas. Por lo tanto, una centésima de energía de Planck (el 1 por ciento de la misma) corresponde a un tamaño del reino de lo muy pequeño. Un tamaño 100 veces mayor que la longitud de Planck.

Esto significa que hay un territorio virgen de realidad que se extiende al menos entre 100 longitudes de Planck y la propia unidad de longitud.^[60]

Experimentalmente, no se sabe nada de lo que ocurre allí.

Una buena forma de imaginarse cómo es para un físico teórico tener este vacío experimental es pensar cómo sería el mundo si tus ojos solo te permitieran verlo a una resolución de un metro. Normalmente, vemos el mundo a una resolución tan alta que podemos distinguir objetos mucho más delgados que un pelo humano, pero imagínate que no pudieras detectar nada de un tamaño menor a un metro. Al explorar el entorno, no serías capaz de ver ningún detalle. Ni siquiera verías a los bebés. Los niños aparecerían de golpe al alcanzar el metro de altura...

No estoy diciendo que haya bebés de un tamaño menor a cien longitudes de Planck, pero no sabemos qué clase de naturaleza puede estar ahí escondida. Nuestra realidad *tiene* sus orígenes en alguna parte de lo muy pequeño. De eso está hecha. De eso estamos hechos *nosotros*. Y puesto que ningún experimento ha explorado estas escalas, es muy posible que el espacio y el tiempo empiecen a ser diferentes de como los conocemos en algún punto *por debajo* de la escala de Planck. También es posible que, justo por eso, la naturaleza de la gravedad, la materia y la luz empiece también a cambiar. Drásticamente, incluso.

Y sería posible, por ejemplo, que todas se convirtieran en una sola.

Hasta ahora, has visto la mayor parte de lo que se conoce.

Después, has visto los problemas que surgen de lo conocido.

Ahora vas a ir un paso más allá.

Asumiremos que todo esto es real y que puedes viajar a través de ello, pero ten en cuenta que, aunque algunos de los individuos más brillantes de nuestros tiempos han trabajado durante décadas para ofrecerte este escenario, no es más que pura teoría.

5

La teoría de cuerdas

Una curiosa neblina de electricidad azul envuelve la silueta de tu compañero robot, como si sus circuitos electrónicos desprendieran el efecto de una excitación interna. Ambos estáis flotando en el espacio exterior, rodeados de galaxias lejanas, cerca del punto en el que se desvaneció por completo el agujero negro del que escapaste.

Has visto todo lo que se podía ver.

Has volado en un avión ultrarrápido.

Has visto la fluctuación del vacío de los campos cuánticos y te has familiarizado con la materia y la luz.

Has visto estrellas que explotaban y creaban nuevos mundos, enanas blancas y agujeros negros que después has visto evaporarse, lo que insinúa la existencia de una teoría aún desconocida de la gravedad cuántica.

—Ha llegado la hora de explorar incluso más allá —dice el robot, y de repente empezáis a encogeros.

Ves partículas volando por ahí. La luz pasa a toda velocidad por tu lado. Ves las fluctuaciones del vacío de todos los campos conocidos y sigues encogiéndote. Alcanzas la escala de la gran unificación, donde se cree que todos los campos cuánticos se comportan como uno solo. Sigues encogiéndote. Ya eres mucho más pequeño que tu mini tú. Tendrías que agrandar todo lo que te rodea un millardo de millardos de millardos para conseguir el grosor de un pelo humano. Llegados a este punto, al principio no ves nada, pero después sí.

Delante de ti hay algo. Una cuerda. Una cuerda hecha de nada. Ni siquiera de espacio o tiempo. Al mirarla, tienes incluso la sensación de que el objeto que se contonea ante ti sustituye a ambos conceptos.

Aún no has alcanzado la escala de Planck, y tampoco vas a poder hacerlo. En el mundo teórico en el que estás entrando ahora, la escala de Planck no existe como tú podrías imaginártela, aunque eso no significa que lo que has visto hasta ahora sea incorrecto. Significa que aquí no puedes fiarte de ninguno de los conceptos que has usado hasta ahora. Excepto de los cuánticos, pero aplicados a las cuerdas en vez de a las partículas.

Eso que se contonea frente a ti podría ser uno de los elementos más fundamentales del universo. Es una *cuerda cuántica*.

Gracias a su existencia, podría explicarse todo lo que has visto antes, incluidas la gravedad y la existencia de todo nuestro universo.

La cuerda cuántica que tienes delante está vibrando. Cuánticamente. En realidad, no puedes delimitar sus extremos pero, a pesar de que la cuerda se mueve rapidísimo, sabes que existe.

Es bonita, vibra alegre y enérgicamente, y te sientes atraído hacia ella. Incapaz de detenerte, vas hacia ella y, aunque parece que ya está vibrando por sí sola, la tocas como harías con la cuerda de una guitarra.

La cuerda está hecha de nada, pero ves cómo acumula un montón de vibraciones, como si fueran los armónicos de un instrumento musical. En una guitarra de verdad, la onda más grande es la que da la nota principal. Las otras son las que consiguen los armónicos más altos. Miras la cuerda y te parece la cuerda desdibujada de una guitarra, pero sin la guitarra. Una cuerda hecha de nada, una cuerda fundamental, si lo prefieres, que puede vibrar. Recuerda que cuando el término «cuántico» acompaña a un vocablo vernáculo, nos pone sobre aviso de que nada es lo que parece. Aquí, esta «cuerda cuántica» no es en absoluto una cuerda y la primera vibración no da lugar a una nota, sino a una partícula de luz, la portadora de la fuerza electromagnética.

Todas las partículas cuánticas que te has encontrado antes, todas las partículas que conforman tu cuerpo y toda la materia del universo, podrían ser vibraciones de estas cuerdas abiertas...

Algo te llama la atención a tu derecha. Giras tu extremadamente minúscula cabecita y ves otra cuerda, pero diferente. No parece una cuerda de guitarra, sino una especie de bucle cerrado. También vibra. Cuánticamente, de nuevo. Sin embargo, esta vez, la excitación no corresponde a una partícula de luz, sino a un gravitón. Se trata de un portador de fuerza gravitatoria, la gravedad convertida en cuántica. Este bucle, esta cuerda cerrada en sí misma, ya te dice que te estás adentrando en la teoría cuántica de la gravedad. Si colocas esta

cuerda cerrada en cualquier lugar imaginable, sus vibraciones tendrán el mismo efecto exacto que la gravedad, y no verás infinitudes por ninguna parte. Las infinitudes que plagaban la gravedad cuántica han desaparecido, y eso es bueno, porque te has deshecho de la noción de que las cosas pasan en el espacio y el tiempo. Con partículas en forma de puntito repartidas por el homogéneo espacio-tiempo, es fácil concebir un lugar específico donde podrían colisionar. Además, la teoría de los campos cuánticos, a pesar de su rareza inherente, también dice que, cuando las partículas interactúan, lo hacen en una posición específica en el espacio y el tiempo. Con las cuerdas, eso ya no sucede. Las partículas *son* vibraciones de las cuerdas. Las vibraciones de las cuerdas *son* partículas. Y durante toda la amplitud y duración de su despliegue. Cuando interactúan, ya no es en un lugar concreto o en un momento en particular, es a lo largo de toda la cuerda. Lo infinitamente pequeño ya no existe y eso elimina todas las infinitudes que te habías encontrado antes.

Este bucle, esta cuerda cerrada, contiene gravedad, así que es gravedad. En cambio, de las cuerdas abiertas emana luz. Por lo tanto, al juntar ambos tipos de cuerda, surge la teoría que unifica la gravedad y el electromagnetismo. Así pues, las cuerdas cuánticas son mucho más que una simple teoría sobre la gravedad cuántica. Una teoría de la gravedad cuántica se dedicaría *simplemente* a la gravedad desde el punto de vista cuántico y no se preocuparía de los demás campos cuánticos. Las cuerdas que estás viendo sí que se preocupan de ellos.

Entonces, ¿qué ocurre con los demás campos?

¿Pueden estas cuerdas ser una teoría del todo, una teoría que unifica la gravedad y *todos* los campos cuánticos que conocemos?

Para ello, también tendrían que tener en cuenta la materia.

¿Dónde está la materia? No puedes verla. ¿Qué es lo que hace, entonces, tan especiales estas cuerdas? ¿Dónde radica la rareza de su existencia? ¿Por qué se emocionan tanto los teóricos con ellas?

Haces bien en planteártelo porque, aunque con esas dos cuerdas que has visto, la cerrada y la abierta, ya puedes decir mucho, mucho no significa todo.

—Sigamos —anuncia el robot, y ambos empezáis a encogeros de nuevo.

Ahora, la cuerda abierta es enorme en comparación contigo. Al observarla detenidamente, comienzas a darte cuenta de que hay mucho más de lo que habías detectado a primera vista. Lo que vas a hacer ahora no podrá hacerlo jamás ningún humano compuesto de materia. Pero, ahora mismo, tú sí que puedes. Sin embargo, debes recordar que para ir más allá de lo conocido

siempre hay que sacrificar algo y lo que tú vas a tener que abandonar ahora es la idea de que tu universo es especial, algo único. Y no solo eso.

Para pasar de Newton a Einstein, tuviste que abandonar la idea de que el universo era estático, de que siempre había sido el mismo y de que la gravedad era una fuerza. Tuviste que introducir el concepto del espacio-tiempo, con sus tres dimensiones de espacio y una de tiempo, todas ellas entrelazadas en una única entidad que se deforma alrededor de la materia y la energía. Para pasar de Newton a la física cuántica, tuviste que abandonar la idea de que las partículas son como puntitos e introducir las ondas, los campos, la incertidumbre y las historias diferentes. Ahora, para pasar de las teorías de la gravedad y los campos cuánticos a la de cuerdas, tienes que convertir todo lo fundamental en una teoría de cuerdas cerradas y abiertas.

Eso será fácil, pero lo que también tienes que dejar atrás es la idea de que la realidad está formada por solo cuatro dimensiones. Las cuerdas no pueden existir en un espacio-tiempo cuadrimensional. Necesitan más sitio. Viven en un universo de diez dimensiones.

Mientras te acercas a la cuerda con el robot, comienzas a ver que, encima de cada uno de los puntos que creías que contenía nuestro universo, hay seis nuevas dimensiones de espacio que crean un mundo propio. Se supone que es de esas pequeñas dimensiones adicionales de donde proviene la materia de la que estamos hechos.

Si ya te costaba visualizar cuatro dimensiones, ni te digo lo que te costará hacer lo mismo con diez. No te preocupes. Lo único que necesitas saber es que las seis dimensiones extra se extienden en direcciones distintas a las habituales izquierda-derecha, arriba-abajo, adelante-atrás de nuestro mundo tridimensional, y que son demasiado minúsculas para que puedas notar su existencia o viajar a través de ellas en la vida real. Sin embargo, el robot y tú habéis encogido lo suficiente para poder hacerlo ahora.

¿Qué aspecto tienen?

Bueno, eso es imposible saberlo. ¡Son demasiadas! Demasiadas posibilidades de entretrejer dimensiones adicionales para obtener una cuerda. Demasiadas formas de envolver esas dimensiones extra en sí mismas, creando un terreno de realidad diferente con cada capa distinta. Los físicos teóricos han llegado a inferir incluso cuántas posibilidades habría y el número con el que han dado es aproximadamente 100.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.0

una idea de cómo se vería desde arriba o desde abajo. Sin embargo, moviéndose en una dirección que no es ni arriba ni abajo, ni izquierda ni derecha, ni adelante ni atrás, el robot te está sacando del universo. Ahora parece que tiene bordes, pero no se encuentran en las dimensiones que nuestros sentidos pueden percibir.

Estás fuera.

Lo ves entero.

Tu universo entero.

Desde otra dimensión. Ahora ves que las cuerdas abiertas, las que parecen cordones de zapato y producen luz con sus vibraciones, están vibrando de muchas maneras distintas, dependiendo de las dimensiones ocultas en las que están. Y también ves que todos los extremos de esas cuerdas abiertas están anclados a tu universo, el que acabas de dejar atrás, mientras que las cerradas, las que tienen forma de bucle y vibran como la gravedad, son libres de moverse hacia fuera y salir del universo...

Entonces te das cuenta de que hay algo detrás de ti, te das la vuelta y ahogas un grito.

Otro universo.

Paralelo al tuyo, al nuestro.

Y ves que las cuerdas cerradas van de uno al otro, poniendo de manifiesto que se pueden comunicar a través de la gravedad. Se trata del cuarto tipo de universos paralelos, los más impresionantes de todos. Esas cosas se llaman *branas*, como membranas pero sin el «mem-», para dejar claro que pueden ser más que láminas, más que algo bidimensional. Lo que estás viendo es una de esas branas, otro universo, pero puede haber muchos más. También pueden ser de dimensiones muy distintas y pueden convertirse el uno en el otro y comportarse como cuerdas, cuando los físicos matemáticos que los estudian cambian su forma de interaccionar. Pueden ser entidades separadas o bien diferentes aspectos de la misma realidad, una realidad vista desde distintas perspectivas. Y todo ello aún podría ser un aspecto de una realidad mayor, signifique lo que signifique «realidad» en este caso. Algunos científicos, liderados por el brillante físico teórico argentino Juan Maldacena, expusieron incluso que todo esto podría entenderse sin gravedad, como si cada universo individual pudiera describirse por lo que ocurre en alguna frontera de alguna parte...

Digieres la verdad. Estás fuera del universo. Hay otros universos pertenecientes a otras dimensiones alrededor, por todas partes. Y hay dimensiones minúsculas en las que las cuerdas se envuelven entre sí, en el interior y alrededor de esos universos, y los hacen vibrar con la materia y la luz que tienen prohibido abandonar su brana, su universo, tu universo. Sus extremos tienen libertad para moverse entre las dimensiones en las que tú naciste, pero no tienen permitido salir de ellas.

Desde donde te encuentras, ves pasar los bucles de cuerdas cerradas de una brana a otra y te percatas de que es posible que parte de la energía abandone tu universo. Ves incluso eso que creías que podían ser agujeros negros enlazándose con branas cercanas a través de un túnel de espacio-tiempo distorsionado, donde la gravedad de cada una de las branas atrae a las otras, y de repente te preguntas si, por casualidad, puede haber gente viviendo en esas otras branas. ¿Acaso pueden ser los agujeros negros un pasaje entre tu mundo y el suyo? ¿Puede que la singularidad que tú no alcanzabas se abra en otra realidad? ¿Puede que el nacimiento de nuestra brana, de nuestro espacio-tiempo, esté ligado a la colisión con otras branas que ya existían antes? ¿Podría explicarse la materia oscura, la energía oscura, mediante la existencia de las branas?

Al volver la vista de nuevo al universo que acabas de abandonar, de pronto, te parece que le ha ocurrido algo al flujo temporal y ves burbujas de nuevos universos inflacionarios surgiendo en el interior del tuyo, en tu brana, que se expanden dentro de lo que era tu mundo como gotas de aceite en la superficie de un estanque.

—¡Deberíamos volver! —gritas.

Pero estás solo.

Ya no ves al robot por ningún lado, así que te deslizas al interior de la brana más cercana con la esperanza de que sea la misma de la que provienes.

Y empiezas a crecer.

Las otras branas vuelven a ser invisibles y las cuerdas que podrían configurar tu realidad se desvanecen en la distancia.

Ahora estás rodeado de quarks y gluones. Enseguida llegan los protones y, después, los electrones y los átomos. Las moléculas. Polvo. Arena. El mar.

Abres los ojos.

Estás en tu playa desierta.

Justo en el mismo punto en el que iniciaste el viaje.

Las estrellas brillan.

Una brisa suave te trae el perfume de flores exóticas.

Tus amigos están a tu alrededor.
Sonríen.
—¡Se ha despertado! —dice uno—. ¡Servidle una copa!
Te incorporas y te sientas. Estás confuso.
Llega la copa.
Te pellizcas. Te duele.
Le das un sorbo.
Miras el mar, los árboles, las estrellas.
Formas.
Aparecen formas en el firmamento nocturno. Caras.
Newton. Maxwell. Einstein. Planck. Schrödinger. Dirac. Feynman.
Hawking. 'T Hooft. Weinberg. Maldacena. Witten.
Y una infinidad más.
Todos sonríen. Todos te miran.
Quieres hablar con ellos, pero se giran y te dan la espalda para observar la majestuosidad del espacio exterior.
Y entonces se desvanecen todos en las estrellas.
Y se desvanecen también las estrellas, y el mar.
Parpadeas.
Vuelves a estar en casa, tumbado en el sofá.
La ventana está abierta.
Te incorporas y te sientas. Miras a tu alrededor.
El café todavía sigue en la mesa.
Te vuelves a pellizcar. Te vuelve a doler.
Tomas un sorbo de café para despejarte la mente.
El café y tu sala de estar han alcanzado una temperatura de equilibrio.
Lo escupes.
—Estoy..., estoy bien —dices en voz alta, pero alargas el brazo para coger el teléfono y llamar a tu tía abuela, solo para asegurarte.
Y vuelves a parpadear.

Epílogo

A lo largo de la historia, los filósofos —y ahora también los físicos teóricos— han intentado hacerse una visión mental del mundo. Con el fin de desentrañar las leyes que lo rigen, las leyes de la naturaleza, unas leyes cuya existencia tenemos todos muy clara (aunque su lenguaje se nos hizo impenetrable durante mucho tiempo), se imaginaron a sí mismos en situaciones imposibles desde el punto de vista físico o experimental. Estas experiencias se denominan *Gedankenexperiment*, y son experimentos de pensamiento puro.

A lo largo de este libro has experimentado una sucesión de estos experimentos mentales. A través de ellos, has podido viajar, solo con el pensamiento, a todo el universo que conocemos hoy en día y más allá de él.

Schrödinger se sirvió de un proceso de este tipo para demostrarnos lo extrañas que pueden llegar a parecer las reglas cuánticas al asociarlas con acontecimientos macroscópicos cotidianos. El resultado de su ejemplo fue un gato que no estaba ni vivo ni muerto, sino vivo y muerto. Es rarísimo, sin duda, pero se ha demostrado que tenía razón.

Einstein también empleaba estos experimentos mentales. Imaginó el aspecto que tendría la realidad si la velocidad de la luz fuera un límite de velocidad fijo. Para ello, se sentó sobre un fotón y, observando el mundo mentalmente desde allí, elaboró su teoría de la relatividad especial, que tiene el mérito de decirnos que un avión que viajase a la velocidad a la que volaba el tuyo terminaría aterrizando de veras 400 años en el futuro. Este punto también se ha demostrado. Y no contento con eso, nos explicó en qué consiste la gravedad, lo que ha llevado a descubrimientos que incluso un siglo después siguen resultando asombrosos. A pesar de que la intuición no se basa en el sentido común que ha permitido a nuestra especie sobrevivir hasta nuestros días, desde hace más de un siglo ha sido el origen de abundantes descubrimientos.

El 11 de febrero de 2016, un artículo científico firmado por más de mil científicos de todo el mundo anunció que la humanidad ha dado un nuevo

paso en su capacidad de asomarse al pasado y presente de nuestro universo.

Por primera vez se han detectado ondas que se propagan a través del tejido del universo. Einstein predijo su existencia en 1916, y pese a que los físicos estadounidenses Russell A. Hulse y Joseph H. Taylor encontraron indicios indirectos de su existencia en 1974 (un hallazgo por el que recibieron el premio Nobel en 1993), las ondas como tales habían conseguido eludir nuestros esfuerzos por localizarlas... Hasta ahora.

Gracias a la predicción efectuada por Einstein hace un siglo, disponemos ahora de una herramienta con la que contemplar el espacio exterior: una herramienta que no responde a la luz, sino a algo diferente, las ondas gravitatorias, minúsculas distorsiones del espacio y el tiempo que lo atraviesan todo a la velocidad de la luz, incluida la Tierra y tú mismo. A su paso hacen oscilar todo cuanto se les interpone: el tiempo, las personas. Todo. El ser humano desconocía por completo su existencia. Pero ya no.

Pero Einstein no ha sido el único. Los rostros que viste en las estrellas, justo después de despertar en la playa, eran las caras de los gigantes del pasado y el presente. Evidentemente, no he podido nombrarlos a todos porque son demasiados, pero son los seres humanos cuyo legado sigue permitiendo que conozcamos cada vez mejor nuestro mundo y que cada vez sea más inmenso. Ellos han escrito la historia de nuestra especie. Página a página, han redactado el libro de lo que sabemos hasta ahora de nuestra realidad. La mayoría de ellos son desconocidos para el gran público, pero no por ello dejan de ser importantes.

Puede que, al recordar cómo empezó tu viaje, te des cuenta de que no has encontrado la forma de salvar a la Tierra de la futura explosión del Sol. En realidad, tal vez ni siquiera hayas descubierto el modo de proteger a nuestro planeta de todas las catástrofes que podrían ocurrir antes de ese momento. Sin embargo, sí has descubierto las herramientas que permitirán a nuestra especie hallar esas soluciones y sobrevivir. Nuestros cerebros. Nuestras mentes. Nuestra imaginación. La ciencia.

Ya has visto que ahí arriba hay otros incontables planetas, mundos que, un día, podrían darnos la bienvenida.

Según nuestros conocimientos actuales, es imposible viajar de una parte a otra del universo en el transcurso de una vida, ni siquiera en miles de vidas. Es algo que solo puede hacerse mentalmente. No obstante, hace apenas unas pocas generaciones, se necesitaban meses para ir en barco de Europa a Australia, un trayecto que, hoy en día, solo precisa unas cuantas horas de vuelo. No sabemos hasta dónde llegará la tecnología del mañana. Tampoco sabemos lo que la teoría de la relatividad general nos permitirá hacer algún día. Hasta ahora, como ya he señalado, nos ha dado el GPS. Solo el GPS. Mañana, podría permitirnos encontrar atajos en el espacio-tiempo, los llamados agujeros de gusano, que podrían conectar dos lugares lejanos sin tener que recorrer las distancias demasiado descomunales que los separan de otro modo. Y ya has visto que ahí fuera existen infinitud de planetas, mundos que quizá un día nos den la bienvenida...

Hasta ahora, los humanos hemos conseguido viajar más allá de las nubes, a la Luna, y hemos mandado robots a los límites del sistema solar. Más allá de esta frontera, la humanidad solo ha podido observar, sin viajar hasta allí, y tú mismo has podido examinar todo lo conocido, y lo desconocido, mediante una serie de experimentos mentales. Gracias a estos viajes imaginarios, has recopilado la suma de todo el conocimiento del que dispone la física teórica de principios del siglo XXI.

A pesar de todo, cabe la posibilidad de que parte de lo que has aprendido durante este viaje esté equivocado. La materia oscura, la energía oscura y los mundos y las realidades paralelas son ideas que podrían llegar a abandonarse, pero no dejan de ser las más poderosas de nuestro tiempo. Responden al modo en el que la humanidad intenta, en la actualidad, dar sentido a nuestro universo. Puede que, en un par de siglos, todo este saber se descarte o se acepte. Es imposible saberlo. Sin embargo, vivir hoy en día implica estar rodeado de estas extraordinarias ideas.

Antes de dejar que lo repases todo por tu cuenta, permíteme un último resumen de todo lo que has visto con algún pequeño añadido.

Como ya sabes, Newton no formuló la teoría definitiva de la naturaleza, la denominada *teoría del todo*, que hasta ahora nos ha resultado esquivada y a la cual aludí hace un tiempo, aunque la teoría de cuerdas podría ser una candidata. La teoría de Newton ni siquiera explica la extraña órbita de Mercurio, y mucho menos la expansión del espacio-tiempo, así que, en cierto sentido, es una teoría errónea. Pese a todo, es bastante brillante e incluso

podríamos calificarla como perfecta, porque sabemos en qué casos funciona y cuándo y por qué se desmorona. Podemos usarla a una escala que (más o menos) pueden asimilar nuestros cerebros humanos: un punto situado entre lo muy grande y lo muy pequeño, a velocidades no demasiado elevadas, y siempre y cuando las energías implicadas no sean demasiado intensas. El mundo tal y como lo experimentamos, el mundo que la evolución nos ha llevado a detectar a través de los sentidos, se enmarca en los límites válidos de la teoría de Newton. Nuestro sentido común también tiene en ella sus fundamentos. Sin embargo, hay cosas que escapan a su alcance en los mundos de lo muy rápido, lo muy pequeño, lo muy grande o lo muy energético. En estos últimos ámbitos, las leyes de Newton no sirven para nada y nuestros sentidos son inútiles pero, pese a todo, y de forma asombrosa, la humanidad se las ha ingeniado para desentrañar las leyes de la naturaleza aplicables a lo que no podemos ver. Las teorías de los campos cuánticos se aplican a lo muy pequeño, mientras que la relatividad general se ocupa de lo muy grande y de aquello con una gran densidad energética.^[61] Entre estas dos teorías, Newton es el rey, y donde Newton no funciona, empiezan a detectarse, y a esperarse, fenómenos muy extraños que apuntan a realidades nuevas y misteriosas que viven en las fronteras de la nuestra.

Tanto las teorías de los campos cuánticos como la de la relatividad general nos han abierto los ojos y la mente a un universo mucho más vasto que el que jamás imaginaron nuestros antepasados, pero siguen siendo teorías limitadas. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con la teoría de Newton, nadie sabe con certeza lo que hay más allá de ellas. A lo largo de este libro, has viajado por estas teorías extraordinariamente exitosas y, en la última parte, has dado un paso tímido e inseguro más allá de ellas. Te has adentrado en un universo cuyos ingredientes básicos están hechos de cuerdas y branas, un universo formado por múltiples realidades y posibilidades, de vacíos cuánticos que conducen a leyes extrañas en universos ajenos al nuestro.

El extraordinario descubrimiento de Einstein fue darse cuenta de que la gravedad no era lo que Newton pensaba. Demostró que se debía a una serie de curvas y pendientes. La gravedad, la materia y la energía están conectadas de un modo muy directo: nuestro universo está hecho de un tejido, llamado espacio-tiempo, cuyas curvas y formas están determinadas por todo aquello que contiene y que abarca en su interior. El efecto que estas curvas tienen sobre los objetos cercanos y la luz es lo que llamamos *gravedad* y lo que

experimentamos como tal. Esa es la teoría de la relatividad general. Tiene cien años. Para descubrir la forma local del universo en el exterior de una estrella y averiguar cómo su gravedad afecta a su entorno, basta con conocer la energía que contiene el interior de la estrella. Muchos científicos, empezando por el físico alemán Karl Schwarzschild, han realizado esos cálculos.

En 1915, el mismo año en el que Einstein publicaba su teoría, y en un momento en el que apenas un puñado de hombres y mujeres de todo el mundo entendían de qué trataba, Schwarzschild esbozó la geometría exacta del espacio-tiempo en el exterior de una estrella. En ese momento, Schwarzschild tenía cuarenta y tres años, y logró semejante hazaña mientras combatía en el frente ruso durante la Primera Guerra Mundial, donde contrajo una enfermedad que lo llevaría a la muerte pocos meses más tarde. Las guerras han privado a la humanidad de demasiados individuos, incluidos muchos que, como Schwarzschild, nos habrían podido ayudar a comprender el mundo mejor y más deprisa.

En cualquier caso, la obra de Schwarzschild nos permitió predecir el movimiento de los objetos y la luz alrededor de una estrella, además de determinar la órbita correcta de Mercurio y demostrar que la presencia del Sol desviaba hasta la propia luz. En 1919, una expedición encabezada por el astrónomo británico sir Arthur Eddington detectó esa desviación (que no se había observado hasta entonces). Ese año, durante un eclipse total de sol, se tomaron fotografías que mostraban que las estrellas cercanas al Sol no se encontraban donde deberían estar: en lugar de ocupar su posición habitual, estaban justo donde la teoría de Einstein había predicho que se encontrarían después de que su luz se viera desviada por el efecto del Sol sobre el espacio-tiempo. La propia luz está sujeta a la gravedad.

Poco después de la muerte de Schwarzschild, se aplicó el mismo principio a objetos todavía mayores (las galaxias) y, al hacerlo, se predijo la existencia de extraños espejismos cósmicos, arcos de luz que flotan en mitad del universo lejano. Se trataba de las imágenes de galaxias todavía más lejanas, cuya luz se veía desviada en su camino hacia nosotros. Según este principio, las galaxias actúan como lentes cósmicas que nos permiten ver lo que hay tras ellas y observar un punto más lejano y profundo de la historia de nuestro universo. Tanto las lentes como los espejismos se detectaron en 1979, más de sesenta años después del trabajo de Einstein, y actualmente aparecen en casi todas las imágenes del espacio profundo tomadas por nuestros telescopios. De paso demuestran que la interpretación geométrica de Einstein de la gravedad

no solo funciona justo al lado del Sol, sino también a lo largo del espacio exterior.

La relatividad general nos ha ofrecido una nueva visión del universo.

Tú, yo, todos y todo estamos rodeados de información que nos llega en este preciso instante procedente del pasado. Nos encontramos en el centro de nuestra realidad visible, y todo lo que se encuentra dentro de esta realidad obedece a la ley de Einstein, salvo el interior de los agujeros negros. Lo mismo puede decirse del concepto que tenemos de la materia y la luz: todo el universo visible se rige por las mismas leyes que se aplican en nuestras inmediaciones cósmicas. La materia de la que estamos hechos y la luz que rebota sobre nuestra piel obedecen a las mismas leyes cuánticas, y esto es así en cualquier lugar de nuestro universo visible.

Relacionar las leyes lejanas con las más cercanas llevó al descubrimiento de que nuestro universo posee una historia, que se produjo un Big Bang en su pasado, y que gracias a la luz es posible leer las eras cósmicas pasadas en las estrellas hasta el punto en el que la luz no puede viajar. A ese momento y ese lugar en el pasado de nuestro universo en el que el espacio-tiempo creció hasta ser lo bastante grande para permitir que la luz viajase con libertad, lo hemos denominado *la superficie de última dispersión*. En el momento en el que desapareció, la temperatura del universo era de 3000 °C y, antes de ese instante, todo el universo era opaco. Después, se volvió transparente. Lo que queda hoy en día de la temperatura irradiada por aquel entonces se denomina *radiación de fondo de microondas*, y en ella pueden encontrarse rastros de lo que existió en el pasado.

Si tratamos de observar más allá de ese pasado en el firmamento nocturno, tan solo podemos hacer deducciones indirectas de lo que una vez fue. Puede que algún día usemos nuestros nuevos ojos (los detectores de ondas gravitatorias) para recibir señales directas de lugares más lejanos, pero todavía no hemos alcanzado ese punto. Hasta entonces, tenemos que recrear las condiciones que un día reinaron en el volumen extremadamente minúsculo en el que estaba confinado nuestro universo para entender lo que pasó.

Eso es, precisamente, lo que llevan haciendo los aceleradores de partículas desde la década de 1970, los cuales nos han llevado a un grado de confianza sin precedentes en las teorías que empleamos para investigar el mundo de las partículas y la luz. Las teorías de los campos cuánticos nos ofrecen un marco de trabajo relativo a lo que forma y formaba el universo

hasta apenas la milmillonésima parte de la milmillonésima parte de la milmillonésima parte de un segundo tras el presunto nacimiento del espacio-tiempo tal y como lo conocemos, un nacimiento cuya existencia es una predicción de la teoría de la relatividad general de Einstein.

Además, sabemos desde la década de 1970 que la relatividad general tiene defectos y que su alcance tiene un límite. Esas debilidades exigen una nueva teoría, una teoría de la gravedad cuántica, y algo más. Todavía desconocemos esa teoría,^[62] pero sabemos que de alguna forma tiene que existir. A eso es a lo que apunta la evaporación de los agujeros negros.

Al encogerte para tratar de descubrir dónde radica esa nueva teoría, terminaste adentrándote en una realidad totalmente nueva, una realidad formada por cuerdas, branas y otras dimensiones. Fue un paso hacia la teoría de cuerdas, quizá la candidata con más adeptos a convertirse en una teoría de la gravedad cuántica o una teoría del todo, aunque todavía tiene que arrojar predicciones que puedan comprobarse experimentalmente.

En el marco de estas teorías de cuerdas y branas, lo que a veces se conoce como *teoría M*, el robot acabó su periplo como tu guía por el espacio, el tiempo y más allá, porque te adentraste en un lugar que no pueden seguir ni siquiera los superordenadores más potentes inventados por la humanidad. Solo las mentes humanas pueden alcanzarlo. En ese lugar, eres por fin libre para averiguar lo que quieras sobre el mundo en el que vivimos.

Hay pocas dudas de que los descubrimientos futuros, tanto teóricos como experimentales, ampliarán los conocimientos actuales y nos abrirán nuevas ventanas a un universo más extraordinario que el que pueda imaginar cualquier ser vivo en nuestro tiempo. Llegado este punto, las teorías de la relatividad general y de los campos cuánticos podrían pasar a ser perfectas, como la de Newton, porque sabremos *por qué* fallan cuando lo hacen y qué teoría rige la nueva situación. De momento, son teorías erróneas en el mismo sentido que lo era la de Newton.

Gracias a estos errores, podemos mirar hacia lo desconocido.

Sin Newton, y a falta de nada con lo que compararlo, ni siquiera nos habríamos dado cuenta del ligero desvío de la órbita de Mercurio.

Sin la discrepancia de Mercurio respecto a las predicciones de Newton y sin la incapacidad de este para explicar lo que sucede cuando los objetos se mueven muy rápido, no tendríamos la visión de Einstein relativa a la forma en la que el tejido del universo interactúa con lo que contiene.

Sin las ecuaciones de Einstein, seríamos como nuestros antepasados e ignoraríamos que nuestro universo tiene una historia. No habríamos elaborado un boceto de cómo funciona nuestro universo en su conjunto. Sin este boceto, no habrías encontrado las ondas gravitatorias ni la materia oscura. Ni la energía oscura.

Los errores son imprescindibles para dar con aciertos y progresar.

Y en fin, ¿qué hay del mañana? ¿Qué va a cambiar esa nueva herramienta, el detector de ondas gravitatorias?

Hace 400 años, cuando el físico y filósofo italiano Galileo dirigió su recién inventado telescopio hacia el firmamento, sentó las bases de la astronomía observacional.

Y vio que Júpiter tenía satélites. Vio que había cuerpos celestes en órbita alrededor de objetos que no eran la Tierra.

Se daba así al traste de una vez por todas con la errónea aunque milenaria idea de que todo giraba en torno a nuestro planeta, de que la Tierra ocupaba el centro del universo, y se sentaban las bases de la exploración científica de una realidad cuyas vastas dimensiones eran infinitamente más extensas de lo que nadie imaginaba.

400 años más tarde, el telescopio de Galileo se ha convertido en el telescopio espacial Hubble, en los telescopios de rayos X, en los telescopios de luz ultravioleta y ondas de radio, además de en otros instrumentos basados en la luz con los que ha sido posible dar respuesta a muchas preguntas sobre el cosmos y sobre nuestros orígenes, y hacernos pensar que nuestro universo no siempre ha existido.

Pero la luz no se propaga a través de todo. Del mismo modo que no eres capaz de ver lo que hay detrás de un muro, la mayoría de veces no estamos en condiciones de usar la luz para ver qué se extiende más allá de la Vía Láctea, o tras una galaxia remota, porque el polvo, y las estrellas, y en algunas ocasiones galaxias enteras arrojan sombras sobre lo que queremos ver. Pero con las ondas gravitatorias eso no pasa. No arrojan sombra, excepto detrás de agujeros negros. Por eso, es posible que estemos en los albores de una revolución conceptual de una magnitud similar a la que puso en marcha Galileo: ahora tenemos un ojo nuevo con el que escrutar el cosmos.

La primera onda gravitatoria captada fue la que evidenciaba la fusión de dos agujeros negros. Hasta ahora no existían pruebas de que los agujeros negros pudiesen orbitar uno alrededor de otro, y menos incluso de que

pudiesen fundirse en uno. Eso, de por sí, es un descubrimiento que merece un Nobel.

Durante los meses y años venideros, no me cabe duda de que encontraremos muchos más agujeros negros, quizá en todas partes, agujeros de tamaños muy distintos, y las teorías que hemos ido formulando sobre estos extraños monstruos cósmicos podrán por fin ser puestas a prueba. Desde que se forman hasta que desaparecen. El interior de los agujeros negros, con todo, seguirá fuera del alcance de nuestros experimentos (una vez dentro, ni siquiera las ondas gravitatorias son capaces de escapar), pero ahora al menos podemos explorar su superficie y sus horizontes. Gracias a la señal captada en septiembre de 2015, da la impresión de que el ser humano estaba en lo cierto en cuanto a algunas de sus características, lo que anima a pensar que los agujeros negros teóricos se corresponden efectivamente con los reales: su forma y tamaño depende de muy pocos parámetros, concretamente de su masa, su carga y la forma en que giran sobre sí mismos. Es lo que se conoce como el *teorema de la calvicie*. Lo formuló (y lo bautizó así) hace cincuenta años un físico extraordinario, John Archibald Wheeler, el mismo que supervisó la tesis doctoral de Richard Feynman, Hugh Everett III y Kip Thorne, uno de los padres fundadores del detector LIGO que captó esas ondas.

Gracias al teorema de la calvicie, las colisiones entre agujeros negros y otras tormentas del espacio-tiempo se convertirán sin duda en linternas ideales con las que calcular distancias remotas, lo que nos proporcionará un método independiente con el que verificar lo que hasta ahora solo habíamos podido inferir valiéndonos de la luz. Está en juego la naturaleza de la materia oscura y la existencia de la energía oscura. Falta poco para que salgamos de dudas.

Puede que te preguntes qué es lo que no nos esperamos. Si te digo la verdad, yo también. ¿Encontraremos pruebas de dimensiones adicionales? ¿Encontraremos algo en lo que nunca hemos pensado? Espero que así sea. Acabamos de construir un ojo nuevo, y lo mejor que puede hacer un ojo nuevo es captar lo inesperado, lo impredecible, para proporcionarnos nuevos misterios que desentrañar.

Está previsto que en 2017 haya ya tres detectores de ondas gravitatorias trabajando simultáneamente: dos en Estados Unidos (LIGO) y uno en Italia (VIRGO). De momento, solo son capaces de detectar ondas gravitatorias cuyas fuentes se encuentran en un radio de aproximadamente 1500 años luz. Pero también está en marcha el proyecto LISA de la Agencia Espacial

Europea, una antena de ondas gravitatorias mucho más potente que LIGO y VIRGO. Seguro que su construcción recibe ahora un nuevo impulso. Tengo mis esperanzas puestas en que detecte ondas generadas más allá de la superficie de última dispersión, que sea capaz de perforar la opacidad de la tumultuosa infancia de nuestro universo. Eso nos permitiría ver (siendo optimistas) la fase de inflación cósmica, si es que de verdad se produjo; y los agujeros negros que se formaron inmediatamente después; y quién sabe, quizá el mismísimo Big Bang. O mejor todavía: algo completamente distinto, aprovechando algunos errores para dar con una nueva verdad.

Espero que la próxima vez que mires las estrellas y la Luna, recuerdes lo extraño, extenso y hermoso que es este universo nuestro, ya que ampliar nuestro conocimiento y nuestros sueños colectivos, y perseguir bellezas y misterios ocultos es el camino que nos llevará a lograr la supervivencia a largo plazo de nuestra especie.

Agradecimientos

Escribir un libro no es una tarea sencilla. Otro aspecto que se tiene en cuenta menos a menudo, aunque no por ello es menos cierto, es que escribir un libro es un proceso muy egoísta.

Por permitirme hacerlo y por ayudarme a lo largo de todo el proceso, le estoy inmensamente agradecido a Lauren, mi hermosa y radiante maravilla hecha de polvo de estrellas.

Escribir un libro es una cosa, pero publicarlo es algo muy distinto. Tengo que dar las gracias a mucha gente. En orden cronológico:

Philippa Donovan, de Smart Quill Editorial. Después de leer la propuesta de mi humilde proyecto (escribir un «libro fácil de leer de ciencia divulgativa sobre todo lo que sabemos del universo desde antes del Big Bang hasta hoy»), en vez de tirarla a la basura sin compasión, me presentó al mejor agente del mundo.

Antony Topping, de Greene & Heaton Literary Agency, es el mejor agente del mundo. Además, también es el mejor amigo que puede esperar tener un libro o su autor.

Jon Butler, que espero que sea tan consciente como yo de lo mucho que le debe este libro. Sus propuestas han sido creativas, inspiradoras, amables, incisivas y, sobre todo, comprensivas. Me alegro de que todavía nos queden unos cuantos asuntos teóricos pendientes de discusión, y espero que los resolvamos tomando unas cuantas cervezas.

Kate Rizzo, de Greene & Heaton Literary Agency, gracias a quien este libro está a punto de viajar por todo el mundo y, tal vez, más allá. Es tan buena que es posible.

Todas las personas de Macmillan por su ingenio y entusiasmo. Sin **Robin Harvie**, **Nicholas Blake** y **Will Atkins**, *El universo en tu mano* nunca habría sido tan legible como es, y yo tampoco habría estado tan orgulloso de él como lo estoy.

Antes de entregar una copia del libro a mi antiguo director de tesis, **Stephen Hawking**, tuve que asegurarme de que no había ningún error agazapado en el texto, y me siento inmensamente orgulloso de poder dar las gracias a mis amigos científicos que aceptaron, con generosidad, dedicar parte de su precioso tiempo a revisar las partes científicas del libro: **David Tong**, catedrático de Física Teórica en la Universidad de Cambridge (Inglaterra); **James Sparks**, catedrático de Física Matemática en la Universidad de Oxford (Inglaterra); **Andrew Tolley**, ayudante de cátedra de Física de la Universidad de Case Western Reserve (EE.UU.); **Cristiano Germani**, investigador por el programa Ramón y Cajal en el Instituto de Ciencias del Cosmos de la Universidad de Barcelona (España). Estoy en deuda con todos vosotros.

Huelga decir que soy el único responsable en caso de que algún error haya conseguido colarse en la versión publicada de la obra.

Stephen Hawking, tras haber podido entregarte un ejemplar del libro, aprovecharé esta oportunidad para expresar el honor que supone para mí poder darte las gracias: tú fuiste quien me acercó a las maravillas de la física teórica. Todo lo que he aprendido sobre nuestra realidad empezó con lo que aprendí de ti: tú me enseñaste a pensar en este hermoso mundo nuestro, un mundo que todavía es más bonito gracias a la existencia de personas como tú.

Bibliografía

Es difícil describir con precisión de dónde procede el contenido de un libro como *El universo en tu mano*. No soy el descubridor de las teorías, pero me he esforzado al máximo por interpretarlas.

Supongo que la mayor parte del material procede de libros de texto universitarios y de mis conversaciones con Stephen Hawking y otros catedráticos asombrosamente brillantes.

En cualquier caso, no cabe duda de que mis conocimientos también se basan en las clases y las conferencias a las que asistí durante mi paso por el Departamento de Matemáticas Aplicadas y Física Teórica (DAMTP) de la Universidad de Cambridge (Inglaterra), o durante mi visita al Instituto Tecnológico de California (Caltech), en Pasadena (Estados Unidos), o el Instituto de Física Teórica de Kavli, en Santa Bárbara (Estados Unidos), donde solía pasar un mes al año con Stephen y sus otros alumnos de doctorado (Thomas Hertog, James Sparks y Oisín Mac Conamhna).

Soy incapaz de enumerar todos los artículos académicos que leí en el arXiv mientras escribía *El universo en tu mano* porque son demasiado numerosos, pero sí puedo ofrecer una lista incompleta de algunos manuales notables que consulté a menudo. Cuidado: no son libros de ciencia divulgativos ni fáciles de leer, pero son geniales y me gustaría mencionarlos porque han sido muy importantes para mí.

BIRRELL, N. D. y DAVIES, P. C. W.: *Quantum Fields in Curved Space*, Cambridge University Press, 1984.

CHANDRASEKHAR, Subrahmanian: *The Mathematical Theory of Black Holes*, Oxford University Press, 1998.

FROLOV, Valeri P. y NOVIKOV, Igor D.: *Black Hole Physics*, Springer, 1998.

- GREEN, Michael B., SCHWARZ, John H. y WITTEN, Edward: *Superstring Theory* (2 volúmenes), Cambridge University Press, 1987.
- HAWKING, Stephen W. y ELLIS, George R.: *The Large Scale Structure of Space-Time*, Cambridge University Press, 1975.
- HAWKING, Stephen W. y GIBBONS, Gary W. (editores): *Euclidean Quantum Gravity*, World Scientific, 1993.
- MISNER, Charles W., THORNE, Kip S. y WHEELER, John Archibald: *Gravitation*, W. H. Freeman, 1973.
- PESKIN, Michael E. y SCHROEDER, Daniel V.: *An Introduction to Quantum Field Theory*, Perseus Books, 1995.
- POLCHINSKY, Joseph: *String Theory* (2 volúmenes), Cambridge University Press, 2000.
- ROVELLI, Carlos: *Quantum Gravity*, Cambridge University Press, 2007.
- WALD, Robert M.: *General Relativity*, University of Chicago Press, 1984.
- WEINBERG, Steven: *The Quantum Theory of Fields* (3 volúmenes), Cambridge University Press, 1995.
- ZEE, A.: *Quantum Field Theory in a Nutshell*, Princeton University Press, 2010.

Nota editorial

La semana antes de enviar este libro a imprenta, se volvieron a sentir ondas gravitacionales. Este fue el primer libro que hablaba de ellas.

Después de la publicación de la cuarta edición, se volvió a dar el mismo fenómeno. Hay una explicación. El universo no deja de expandirse. Y, por suerte, el conocimiento del universo tampoco.

Este libro es la descripción de todo lo que sabíamos sobre ese lugar lleno de misterios en el momento en que se mandó a imprimir. Un martes 5 de julio de 2016 a las 12.30 (hora española). Si vives en el futuro y ahora lees este libro, quizás puedas completarlo tú.

Gracias.



Christophe Galfard (París, Francia, 1976) se doctoró en física en la Universidad de Cambridge bajo la tutela del mismísimo Stephen Hawking.

Le gusta decir que aún conserva la camisa que vestía cuando investigaba con él los agujeros negros, aunque hace tiempo que abandonó el ámbito académico más cerrado para acompañar al gran público de la mano por los misterios del universo. Desde entonces se ha convertido en el divulgador joven más brillante y riguroso del momento, alternando animadas conferencias, apariciones en programas televisivos y alimentando la conversación directa con sus lectores a través de su página web (en especial en la sección «Pregúntame sobre el universo»).

Con ese espíritu ha publicado tres novelas y también ayudó a su maestro y a su hija Lucy Hawking a escribir una exitosa novela juvenil, bestseller de *The New York Times* y traducida a 45 idiomas. Todas sus inquietudes y anhelos han quedado condensados en el titánico pero accesible *El universo en tu mano*, un libro en el que se propone dos cosas: emplear una sola ecuación ($E=mc^2$) y no dejar atrás a ningún lector. Y lo ha logrado con creces: un fenómeno editorial internacional, considerado el mejor libro científico del 2015 en Francia.

Notas

[1] Puede que tengas la impresión de que en una noche oscura puedes ver millones de estrellas, pero lo cierto es que el ojo humano apenas consigue distinguir un par de centenares desde una ciudad, y entre 4 000 y 6 000 desde el campo, lejos de la contaminación lumínica. <<

[2] Imagino que ya lo sabes pero, por sí acaso, lo menciono: en $E=mc^2$, « E » simboliza la energía, y « m » la masa; « c », en cambio, es la velocidad de la luz. Esta ecuación, la única que encontrarás en todo el libro, indica que la masa se puede transformar literalmente en energía, y la energía en masa. <<

[3] En 2013, uno de los satélites meteorológicos de la NASA registró una temperatura de $-94,7$ °C en la Antártida: la temperatura más fría jamás registrada en la Tierra. En el lugar del espacio en el que te encuentras ahora, haría todavía más frío. <<

[4] En julio de 2015, la sonda New Horizons de la NASA llegó a Plutón para estudiarlo de cerca, un hito histórico que sacó a la luz detalles extraordinarios con los que nadie contaba, como, por ejemplo, desconcertantes indicios de actividad reciente en su superficie. <<

[5] El objeto de fabricación humana más lejano es la sonda espacial Voyager I de la NASA. Lanzada en 1977, en 2013 alcanzó el límite exterior del sistema solar. Sigue transmitiendo datos a la Tierra y todavía responde a nuevas órdenes. Se espera que las baterías duren hasta 2025. En el año 2016, una señal mandada desde la Voyager I tarda unas dieciocho horas y cuarenta minutos en llegar a la Tierra a la velocidad de la luz. En el futuro, cuando la sonda se encuentre todavía más lejos, la señal tardará todavía más en llegar. A través de la **web de la NASA** puede hacerse un seguimiento actualizado de su posición. <<

[6] Para aquellos de mis colegas científicos que estén leyendo esto, en este punto tan temprano del libro estoy obviando las *ondas gravitatorias*. <<

[7] Para los amantes de la historia, los astrónomos estadounidenses Bruce Balick y Robert Brown fueron los primeros en detectar Sagitario A* usando un radiotelescopio. <<

[8] Aunque puede que nuestra existencia lo convierta en un lugar único. <<

[9] A no ser que tengas unos ojos extraordinarios y sepas a dónde hay que mirar. <<

[10] Sin embargo, otros habían considerado esta posibilidad antes que ellos, el primero de los cuales parece ser el astrónomo y matemático inglés del siglo XVII Thomas Wright. Pocos años después, el filósofo alemán Immanuel Kant desarrolló esta idea. <<

[11] Me he referido a «otras especies inteligentes», pero, como el físico teórico y cosmólogo inglés Stephen Hawking suele decir en broma (¿o habla en serio?), todavía tenemos que descubrir alguna prueba de la existencia de vida inteligente sobre la Tierra. <<

[12] Urano y Neptuno fueron descubiertos más tarde. Gracias a la fórmula de Newton, además. <<

[13] Incluidos Urano y Neptuno. <<

[14] Lo cierto es que investigaciones recientes apuntan a que nuestros ojos pueden percibir determinadas luces infrarrojas normalmente invisibles. No está muy claro, sin embargo, lo que nuestro cerebro hace con esa información... <<

[15] Los metales emiten electrones *solamente* cuando se los ilumina con la luz *correcta*. Es lo que se conoce como *efecto fotoeléctrico*. La explicación recoge lo que acabo de describir (que los electrones solo pueden pasar de un orbital a otro incrementando o reduciendo sus niveles de energía) y también el hecho de que la luz puede describirse como paquetitos de energía, como una partícula. En pasajes posteriores del libro hablaremos mucho más sobre este aspecto de la luz. Y ya que estamos, me gustaría añadir que Einstein seguramente habría merecido al menos otros dos premios Nobel, pero solo recibió este. <<

[16] Para ser exactos, este es un espectro *de absorción*. Un espectro que muestra la luz que emite un material, y no la que absorbe (como el átomo de nuestro ejemplo), recibe el nombre de espectro *de emisión*. <<

[17] Recuerda: el primer principio cosmológico es que todas las leyes de la naturaleza, sean estas las que sean, son iguales en todas partes. <<

[18] Hablaremos de las otras tres fuerzas muy pronto, en la tercera parte de este libro. <<

[19] En este capítulo, al decir «ligero» queremos decir «menos denso». <<

[20] Las balas que dispara un rifle son mucho más lentas, por lo que siempre caen, incluso si apuntamos al cielo, así que ni lo intentes. Esos 40 320 km/h son lo que se conoce como velocidad de escape. A modo de comparación, la velocidad de escape en el Sol es de 2,2 millones de km/h, mientras que el cometa con forma de patito de goma sobre el que se posó la sonda Philae de la Agencia Espacial Europea en 2014 tiene una velocidad de escape de apenas 5,4 km/h. Un saltito bastaría para abandonarlo. <<

[21] La Luna también atrae todo lo demás, evidentemente, incluida la corteza sólida del planeta, a nosotros mismos, los juegos de té y las cucharillas, pero todo eso es sólido (además de tener menor tamaño), por lo que se nota menos.
<<

[22] En realidad está mucho más lejos, porque el universo ha continuado con su expansión desde que la luz que llega ahora hasta nosotros inició su camino. Los físicos calculan que esa distancia ronda ahora los 46 000 millones de años luz. <<

[23] Por si te lo estabas preguntando: dentro de mil millones de años, esa superficie será la misma, pero estará más lejos y, consecuentemente, será más tenue. Y dentro de cientos de miles de millones de años, ni siquiera será perceptible. Y así, en un futuro muy, muy lejano, nuestros descendientes no serán capaces de probar siquiera que el universo empezó con un gran estallido... <<

[24] Puede que lleves algún tiempo preguntándote por qué la superficie de última dispersión recibe ese nombre. La cosa está en que cuando la luz (un fotón, pongamos por caso) topa con un electrón, se dice que se dispersa. Antes del muro, la luz se dispersaba constantemente ante la materia. La materia estaba tan densamente comprimida que las dispersiones se producían de forma continua, y los fotones no podían viajar. De ahí la opacidad del universo. Pero el universo se expandió y perdió densidad, tanta que un día la luz pudo desplazarse libremente. Esa fue la última vez que la luz se dispersó e hizo aparecer en nuestro pasado la superficie de última dispersión. Eso es el muro. Es la luz que procede de aquel instante, una luz que seguimos recibiendo todavía, la luz que Penzias y Wilson detectaron después de que hubiese viajado durante 13 800 millones de años. <<

[25] En honor de la exactitud, a velocidades tan extraordinarias sería preciso aplicar algunas correcciones a la ecuación de Einstein (y el propio Einstein fue quien las identificó), pero la idea es básicamente la misma. <<

[26] Puede que no se alcance la masa de una montaña, pero eso es justo lo que ocurre con las partículas aceleradas en los aceleradores de partículas de todo el mundo: en vez de alcanzar la velocidad de la luz, ganan masa. <<

[27] No obstante, hay que tener en cuenta las correcciones debidas al desplazamiento al rojo inducido por la expansión de nuestro universo. Las imágenes que recibimos del cosmos se han estirado debido a la expansión del universo, pero no han envejecido. <<

[28] No obstante, regresar no lo es, así que, si se te presenta la oportunidad, piénsatelo dos veces antes de apuntarte a un viaje de este tipo. <<

[29] Y descubrirás una de estas tecnologías dos capítulos más adelante. <<

[30] Que se mueve rápidamente, aquí, puede incluso significar a velocidad relativa, es decir, que se mueve a una fracción significativa de la velocidad de la luz. <<

[31] Por si te lo estás preguntando, los fotones virtuales, las perlas de luz que transportan la fuerza electromagnética, no llevan ninguna carga, de modo que no pueden ser las responsables de esto. <<

[32] Ese año, compartieron el Nobel con Ernst Ruska, un físico alemán que construyó otro tipo de microscopio llamado *microscopio electrónico*. 1986 fue un año de muchos aumentos. <<

[33] Da la casualidad que en aquel momento, la mujer de Pauli le había dejado... por un químico, algo muy difícil de tragar para un físico teórico, y empezó a ahogar sus penas en alcohol. Con razón su principio se llama «de exclusión». Aun así, como una ironía, desde lo más profundo de su depresión y a pesar de haber perdido aparentemente la razón para no hundirse, halló el motivo por el cual podemos vivir en la superficie de nuestro mundo sin hundirnos en ella. <<

[34] Los átomos que han anexado uno o más electrones también se llaman iones. Los iones son átomos que no tienen la cantidad normal de electrones correspondiente a su naturaleza. <<

[35] Rutherford, uno de los experimentalistas más impresionantes de todos los tiempos, había descubierto también que los átomos tenían un núcleo (como te he mencionado antes, en esta misma parte). Chadwick trabajaba en el laboratorio Cavendish de la universidad de Cambridge, en Inglaterra, que Rutherford dirigía. <<

[36] Si lo has olvidado, aquí está: primera parte, capítulo 3, página 27. <<

[37] O de hidrógeno o de cualquier otro átomo, en realidad. <<

[38] Eso ocurre durante el día. Por la noche siguen atravesándote, pero después de haber atravesado primero la Tierra. <<

[39] Edward Witten es uno de los padres de la llamada *teoría de cuerdas*, que encontrarás al final de la séptima parte y, por cierto, el primer y único físico galardonado con la medalla Fields, el equivalente en el ámbito de las matemáticas al premio Nobel. <<

[40] A medida que vayamos miniaturizando nuestros aparatos electrónicos, los ingenieros deberán tener cada vez más presente este efecto. <<

[41] Lo mismo es aplicable a los quarks, los gluones, los fotones y el resto de las partículas fundamentales de todos los campos cuánticos. <<

[42] Recuerda: cuantos más protones y neutrones haya en el núcleo de un átomo, menos gluones requieren los quarks para mantenerse dentro de los límites de su celda. <<

[43] Los neutrinos sí tienen masa, pero es tan minúscula que pasó desapercibida para todo el mundo hasta que el extraordinario ingenio de dos físicos, el japonés Takaaki Kajita y el canadiense Arthur B. McDonald, permitió demostrar que era distinta a cero. Ambos recibieron el premio Nobel de física en 2015 por su trabajo. <<

[44] GCH son las siglas de Gran Colisionador de Hadrones. Todas las partículas que sienten el intenso campo de interacción reciben el nombre de hadrones. Los protones son hadrones y la función básica del GCH es hacer que protones colisionen muy enérgicamente. <<

[45] El premio Nobel solo se otorga a científicos vivos. <<

[46] ¿Con cuánta violencia? Según $E=mc^2$, para liberar una energía equivalente a la de tres bombas nucleares como la de Hiroshima, bastaría con que un solo gramo de antimateria se aniquilase con su contrapartida. Tu encuentro con un antitú de 70 kilos equivaldría, por lo tanto, a 210 000 bombas nucleares de ese tipo. No está mal para un apretón de manos. <<

[47] Si te preguntas (con razón) por qué el universo tiene un diámetro de 100 años luz y no de un par de minutos luz, encontrarás la respuesta en la quinta parte. <<

[48] Sabrás más de la inflación en la séptima parte. <<

[49] La teoría de la relatividad especial, la teoría de Einstein sobre los cuerpos en movimiento (rápido) está incluida en ambas. <<

[50] La palabra *cuanto* proviene del latín y su significado es «paquetito». <<

[51] También podría haber estado muerto, pero los finales felices son más populares. <<

[52] Si te preguntas qué efecto tienen sobre ti las ondas gravitatorias, a continuación encontrarás unos cuantos datos aproximados. De haber estado cerca de los dos agujeros negros cuya colisión detectó LIGO, habrías sufrido una comprensión aproximada del dos o tres por ciento sobre tu tamaño. Quizá no parezca gran cosa, pero lo mismo le habría pasado a todo cuanto estuviese a tu alrededor, incluidos los planetas y las estrellas. Ahora bien: a medida que se expanden, las ondas pierden fuerza, del mismo modo que las olas que levanta un meteorito al chocar contra el mar se disipan en la distancia. Cuando llegaron a la Tierra, 1300 años más tarde, las ondas gravitatorias levantadas por la fusión de los dos agujeros negros tenían un efecto irrisorio sobre el espacio-tiempo. Hablamos de una variación no mayor que el grosor de un cabello humano en la distancia que separa la Tierra de Próxima Centauri, la estrella que visitamos en la primera parte, la más cercana a nuestro Sol, situada a cuatro años luz de nosotros. Así de preciso es LIGO. Evidentemente, la colisión de dos agujeros negros es un acontecimiento de una violencia extraordinaria. Las ondas gravitatorias generadas por la enana blanca al engullir la estrella gigante son mucho menores. Pero no deja de ser un acontecimiento violento. Sobre todo al final. <<

[53] El total no suma un 100 % porque siempre hay cierta incertidumbre en las cifras obtenidas. Fuente: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP).
<<

[54] La radiación de Hawking es el nombre que recibe todo lo que sale de los agujeros negros cuando se evaporan. <<

[55] En el caso de que te lo preguntes: para transformar, no ya el Sol, sino nuestra Tierra en un agujero negro, sería necesario comprimirla entera (contigo incluido) hasta alcanzar el tamaño de un tomate cherry. <<

[56] Esto, por cierto, no entra en contradicción con el límite de la velocidad de la luz de Einstein, porque no se trata de una señal que viajara más rápido que ella, sino que fue el propio espacio-tiempo el que se expandió. Dos objetos alejándose entre sí a una velocidad mayor que la de la luz jamás serán capaces de volver a mantener ninguna clase de relación. <<

[58] El primero consistía en todas las partes de nuestro universo que quedan más allá de nuestra realidad observable y el segundo era la interpretación de los *varios mundos* de la mecánica cuántica de Everett. Este es el tercero: universos originados en el interior de otros universos. <<

[59] Por si no lo recuerdas y quieres volver a refrescarlo, el tiempo de Planck no es gran cosa: una millonésima de milmillonésima de milmillonésima de milmillonésima de segundo. <<

[60] En junio de 2015, la energía alcanzada por el Gran Colisionador de Hadrones, el acelerador de partículas que hay cerca de Ginebra, batió todos los récords anteriores y redujo casi a la mitad lo desconocido. Sin embargo, habrá que esperar un año o dos más para tener noticias de nuevos avances. <<

[61] Y lo muy rápido pertenece a ambas. <<

[62] Y puede que haya más de una. <<