

ALEX RIVEIRO

HACIA LAS ESTRELLAS

Una breve guía del universo



ALEX RIVEIRO

HACIA LAS ESTRELLAS

Una breve guía del universo



ÁLEX RIVEIRO

HACIA LAS ESTRELLAS

UNA BREVE GUÍA DEL UNIVERSO


ALFAGUARA

SÍGUENOS EN
megustaleer



@somosinfinitos



@somosinfinitos



@somosinfinitos

| Penguin
Random House
Grupo Editorial |

El universo es algo que nos fascina tanto como nos atemoriza. Lo desconocido nos da miedo y nos cautiva a partes iguales. Sin embargo, no podemos olvidar que este es el lugar del que procedemos. Somos la consecuencia de la existencia del propio cosmos.

Para que nosotros pudiésemos estar aquí era necesario que primero hubiese un Big Bang...

Hacia las estrellas es un viaje para descubrir el cosmos. Un viaje para descubrir que tenemos en común con el universo mucho más de lo que creemos. Pero, sobre todo, un viaje hacia la curiosidad. Esa curiosidad innata en todos nosotros, desde pequeños, que siempre nos lleva a no dejar de hacernos preguntas.

Este viaje es para ti y solo para ti. En estas páginas leerás cosas que ya sabías, cosas que creías saber y cosas que desconocías. ¿Qué pensarás al final del camino? Solo tú puedes saberlo.

Ven, el universo nos está esperando...

Álex Riveiro

PRÓLOGO

¿Alguna vez has levantado la vista al cielo en una noche estrellada y te has dejado llevar por la imaginación? Igual en ese momento te has trasladado a un infinito mar de estrellas y planetas. A mundos que van más allá de lo que podemos imaginar en la Tierra. Algunos con vida, tal vez inteligente, y otros completamente inhóspitos e infernales.

O quizá simplemente te has preguntado cuántas estrellas hay en la Vía Láctea, en un intento por comprender la magnitud de un universo que es infinitamente más grande que nosotros mismos y la pequeña canica azul en la que vivimos. De una manera u otra, es probable que en algún punto de tu vida te hayas cruzado con la astronomía.

Somos criaturas curiosas. Desde niños, no podemos evitar hacernos preguntas sobre el mundo que nos rodea. ¿Por qué el cielo es azul? ¿Por qué la hierba es verde? ¿Por qué Saturno tiene anillos? **La ciencia es la búsqueda de las respuestas a las preguntas que siempre nos hemos hecho.**

Y la astronomía en concreto tiene como objetivo acercarnos algunos de los grandes misterios del universo. ¿Por qué existe el universo? ¿Por qué hay vida en la Tierra? ¿Es el único planeta habitado de la galaxia? ¿Y del universo? ¿Hay vida en otros mundos? ¿Podemos comunicarnos con ellos? O quizá tu curiosidad ha ido por otros derroteros: ¿podemos viajar en el tiempo? ¿Es posible ver la extinción de los dinosaurios? ¿Y a los seres humanos del futuro?

Si en alguna ocasión te has hecho cualquiera de estas preguntas, este libro es para ti. Es una invitación personal para descubrir el universo. No importa si este te fascina o te aterroriza, ambas reacciones son normales. Sentimos atracción por lo desconocido, y en ocasiones también nos asusta. La mejor manera de superar nuestros miedos es, precisamente, conociendo aquello que no conocemos.

Comprender el universo es, en cierto modo, comprendernos a nosotros mismos. Porque somos parte de él. Somos la consecuencia directa de la existencia misma del universo. Existimos porque hubo un Big Bang que dio inicio al espacio y al tiempo.

Estamos aquí porque, poco después de su nacimiento, se formó una galaxia llamada la Vía Láctea. En ella, hace 4.500 millones de años, se formó una estrella del montón, con un planeta rocoso normal y corriente a su alrededor. En él, ahora, estás tú. Leyendo estas páginas. Ven, te invito a un viaje que comienza en los confines del cosmos...

CAPÍTULO I

UN UNIVERSO INCONMENSURABLEMENTE GRANDE

Este viaje comienza en un lugar en el que no seríamos capaces de reconocer, ya no la Tierra, sino la Vía Láctea. **Nuestro paseo empieza en el borde mismo del universo**, a miles de millones de años-luz de distancia de nuestro planeta natal. Aquí, estamos en el **reino de los filamentos galácticos y los supervacíos cósmicos**. El universo, visto a esta escala, parece una fina y delicada **red neuronal**.

Los filamentos galácticos están compuestos por miles de millones de galaxias. Todas ellas indistinguibles desde esta distancia. **Los supervacíos son grandes áreas en las que, aparentemente, no hay nada**. Separan los filamentos galácticos entre sí y le dan esa apariencia de red neuronal.

Sin embargo, sería un error creer que estas zonas están completamente vacías. En su interior, ocultas a nuestra vista desde esta distancia, también encontraríamos multitud de galaxias. Pero no es esa la dirección hacia la que partiremos. Porque la **Vía Láctea**, una **galaxia espiral** entre los 200.000 millones de galaxias que componen el universo observable, no está en uno de estos grandes vacíos. Su hogar está en algún lugar de uno de esos filamentos galácticos. La mayoría de ellos tienen un tamaño de entre 160 y 260 millones de años-luz. Y marcan los límites de los supervacíos.

Los filamentos forman parte de supercúmulos. Agrupaciones de cientos de miles de galaxias. Hay uno, en particular, que, a esta distancia, probablemente solo un ojo experto podría llegar a reconocer, pero que tiene un significado muy especial para nosotros: **Laniakea**. El nombre, en hawaiano, significa «**cielos inconmensurables**».

Nuestro viaje nos acerca hacia el lugar en el que podemos encontrar la Tierra. Emprendemos nuestro camino hasta que solo los supercúmulos galácticos, que componen los filamentos de Laniakea, son visibles. **Ante nuestros ojos**, aunque indistinguibles individualmente, **hay unas 100.000 galaxias que se extienden a lo largo de 520 millones de años-luz**. Una de esas galaxias es la Vía Láctea. Aunque, por más que lo intentásemos, no seríamos capaces de identificarla desde esta distancia. **Estamos, todavía, en el reino de estructuras que son mucho más grandes que una galaxia**.

Laniakea es una estructura transitoria. Los diferentes supercúmulos de galaxias que la componen no están ligados gravitatoriamente entre sí. Así que, con el tiempo, irá modificándose, en un proceso que sucede a una escala mucho más grande que la de una vida humana. En el

transcurso de la vida de una persona, el universo parece casi estático...

De entre todos los supercúmulos de galaxias que forman parte de Laniakea, nuestro destino está en uno muy concreto: el **supercúmulo de Virgo**. Este está compuesto por unos 100 cúmulos de galaxias, con un diámetro aproximado de 110 millones de años-luz. Estamos, todavía, muy lejos de nuestro hogar. Desde nuestra posición, en este tranquilo viaje hacia la Tierra, somos incapaces de identificar la Vía Láctea, o ninguna de las galaxias que, con un telescopio, podemos observar cerca de la nuestra.

En todo el universo, se calcula que hay unos **10 millones de supercúmulos galácticos**. Nuestra galaxia, junto a todo el supercúmulo de Virgo, y otros supercúmulos que componen Laniakea, viajan a 2,2 millones de kilómetros por hora hacia su centro. Allí se encuentra **el Gran Atractor**, una región del espacio que parece contener una masa miles de veces superior a la de nuestra galaxia. Aunque su estudio es difícil, porque nuestra propia galaxia oscurece el lugar hacia el que se dirige, todo parece indicar que el centro de Laniakea, **el Gran Atractor**, es **simplemente un enorme supercúmulo de galaxias: el supercúmulo Vela**.

Está a unos 870 millones de años-luz de distancia de la Vía Láctea y es una de las estructuras más grandes que podemos observar en el universo. Aunque no lo podamos percibir, en estos momentos, mientras lees estas palabras, nuestra galaxia viaja a 2,2 millones de kilómetros por hora hacia un lugar que se encuentra a 870 millones de años-luz. Es decir, **si pudiésemos viajar a la velocidad de la luz, tardaríamos 870 millones de años en llegar hasta nuestro destino.** Es posible que te cueste poner en perspectiva esa cantidad de tiempo. **Es 13 veces más que el tiempo transcurrido desde la extinción de los dinosaurios (hace 65 millones de años).** Es, también, casi 3,5 años galácticos. Un año galáctico es el tiempo que tarda el Sol en dar una vuelta alrededor de la Vía Láctea, aproximadamente 250 millones de años.

Es difícil entender el tamaño y la forma del universo. A nuestra mente no se le da bien trabajar con números grandes. Al hablar del universo no podemos pensar en nuestros términos habituales. En la escala más grande del cosmos, un kilómetro es una unidad que se nos queda irrisoriamente pequeña. En realidad, incluso el año-luz, la distancia que recorre la luz, en el vacío, en un año, unos 9,5 billones de kilómetros, también se nos queda extremadamente pequeña.

Hagamos un pequeño alto en nuestro particular viaje hacia la Tierra desde los confines más alejados del universo. Estamos ante el supercúmulo de Virgo, todavía a millones de años-luz de distancia de la Vía Láctea. Nuestra galaxia, todavía, es irreconocible desde esta distancia. Hay dos grandes grupos que destacan sobre los demás. El cúmulo de Virgo, el corazón del supercúmulo que lleva el mismo nombre, y que está formado por unas 1.300 galaxias; y el **Grupo Local**, el hogar de 54 galaxias, incluyendo **Andrómeda**. Aquí ya empezamos a movernos en una escala que, con dificultad, comienza a recordarnos el firmamento que nos resulta familiar.

Desde la superficie de la Tierra, con la ayuda de un pequeño telescopio, es posible ver algunas de las muchas galaxias que conforman el cúmulo de Virgo. Es el caso de **Messier 49, su galaxia más brillante**, que fue observada por el astrónomo francés Charles Messier entre finales de 1770 y principios de 1780. Junto a ella, también observó **Messier 87, una galaxia elíptica que destaca**

por encontrarse en el centro mismo del cúmulo de Virgo. Messier 87 tiene la particularidad de ser una de las galaxias más grandes que podemos observar a nuestro alrededor. Además, nos presenta una característica que no vemos frecuentemente en otras galaxias. Un chorro de materia azul que parece partir desde el centro.

Creemos que en el centro de todas las galaxias grandes, y Messier 87 ciertamente lo es, **hay un agujero negro supermasivo.** A diferencia del de la Vía Láctea, este agujero negro supermasivo está activo. Es decir, está absorbiendo material. Aunque hablaremos de los agujeros negros más adelante, hay que decir que **no todo el material cae al interior de un agujero negro cuando es absorbido.** En ocasiones, una **parte de ese material puede salir despedido, acelerado a velocidades cercanas a la de la luz,** formando un chorro de plasma energético. **En el caso de Messier 87, ese chorro es visible a 5.000 años-luz del centro de su galaxia.** En este viaje desde los confines del universo, esta galaxia elíptica sería una parada que atraería la atención de los turistas.

Aunque sería de lo poco del cúmulo de Virgo que nos llamaría la atención. A diferencia de la Vía Láctea, que es una galaxia espiral, Messier 87 es una galaxia elíptica. **Desde la distancia, una galaxia elíptica parece una gigantesca bola de luz con un carácter difuso.** No somos capaces de identificar las estrellas individuales que la componen, y tampoco podemos ver las nubes de gas de las que nacerán nuevas estrellas.

Al contrario, **las galaxias elípticas destacan por estar formadas, principalmente, por estrellas viejas.** Son **las galaxias espirales,** como la Vía Láctea, o nuestra vecina Andrómeda, las que, por el contrario, **muestran una mayor cantidad de estrellas jóvenes y una estructura mucho mejor definida.** Creemos que las galaxias elípticas son el resultado de la colisión de galaxias espirales.

En una galaxia espiral, las estrellas giran en torno al centro de la galaxia aproximadamente en el mismo plano. Eso, junto a las nubes de gas que podemos encontrar en sus bonitos brazos galácticos, provoca que tengan un aspecto muy definido. Casi podríamos decir que no hay dos galaxias espirales iguales, aunque lo cierto es que algunas tienen un aspecto muy similar al que, creemos, tiene nuestra propia Vía Láctea.

Pero dejemos atrás el cúmulo de Virgo y permitamos que nuestra nave siga su viaje. Es hora de acercarnos al Grupo Local, a nuestro querido hogar. Aquí estamos a miles de millones de años-luz del borde del universo. En este viaje hemos pasado de las estructuras más grandes del universo a las más pequeñas. Como si se tratase de una suerte de gigantesca muñeca rusa, que contiene muchas más muñecas rusas, más pequeñas. Es un viaje que no es muy diferente al que podemos hacer a otra escala que nos resulta, también, difícil de imaginar: la del **mundo microscópico.**

Esta es la bendición y la maldición de la mente humana. Estamos acostumbrados a funcionar en una escala mucho más pequeña que la que nos presenta el universo. Pero también en una escala mucho más grande que la que nos presenta el mundo microscópico. Eso hace que las magnitudes con las que nos manejamos aquí sean difíciles de imaginar y cuantificar.

En este punto de nuestro viaje, con el Grupo Local ya en nuestro punto de mira, podemos reconocer nuestra querida Vía Láctea. A nuestro alrededor, allá donde miremos, podemos ver multitud de galaxias en todas direcciones. Si observamos su movimiento, veremos que **algunas nos muestran una tonalidad roja**: eso es señal de que **se alejan de nuestra galaxia**. Otras, como la bella galaxia de Andrómeda, **muestran un color azul que indica que se acercan a nosotros**.

Pero ¿por qué se producen esos colores? **Se trata del desplazamiento al rojo y el desplazamiento al azul**. No es muy diferente a lo que sucede cuando escuchamos el sonido de una ambulancia que se acerca hasta nosotros y, posteriormente, se aleja. El sonido de la sirena se vuelve cada vez más agudo hasta que la ambulancia llega a nuestra altura, y, en cambio, cada vez más grave a medida que se aleja. Esto sucede porque sus ondas acústicas, en su recorrido hasta nuestros oídos, son cada vez más cortas. Al alcanzarnos y alejarse, sin embargo, se produce el efecto contrario: las ondas acústicas se alejan de nosotros y, en consecuencia, se estiran.

La luz de las galaxias funciona de la misma manera. **Las galaxias que se alejan nos muestran su luz desplazada hacia el rojo**. No debería sorprendernos, **porque es el color que tiene la longitud de onda más larga**. Hay longitudes incluso más largas, pero escapan a la percepción de nuestros ojos y, por tanto, nos son invisibles a menos que recurramos a la ayuda de otros instrumentos. **Las galaxias que se acercan, por contra, muestran su luz desplazada hacia el azul y el violeta porque estos son los colores con la longitud de onda más corta**. Hay otras longitudes de onda aún más cortas, pero, de nuevo, no podemos percibir las sin la ayuda de otros instrumentos.

En el Grupo Local encontramos 54 galaxias. La mayoría son galaxias enanas, mucho más pequeñas que la Vía Láctea. **Hay tres galaxias grandes** que destacan por encima de todo lo demás: la galaxia de **Andrómeda**, la **galaxia del Triángulo** y nuestra propia **Vía Láctea**. Es un paisaje que, en la escala cósmica, solo podremos ver durante poco tiempo: **dentro de unos 4.500 millones de años, la Vía Láctea y Andrómeda colisionarán**, formando una galaxia elíptica a la que denominamos **Lactómeda**. A ella, poco tiempo **después, se le unirá la galaxia del Triángulo**. En cierto modo, es un buen recordatorio de que somos afortunados de existir en este preciso instante de la historia del universo. Podemos observar nuestro hogar de una manera que, en un futuro lejano, nadie podrá volver a ver.

Por cierto, no te dejes llevar por lo alarmante del nombre. **Aunque una colisión entre galaxias pueda sonar a algo catastrófico y definitivo, lo cierto es que sucede constantemente y es uno de los mecanismos más importantes en la vida del cosmos**. Dos galaxias se unen y forman una nueva, pero la inmensa mayoría de estrellas, lejos de los dos centros galácticos (como el Sol en la Vía Láctea), no sufren cambios notables. Las colisiones entre estrellas son muy raras porque, aunque nos cueste imaginarlo, el espacio es realmente grande y está muy vacío.

Pero volvamos al presente. Nuestro viaje nos acerca cada vez más a nuestro hogar. **Desde esta distancia, podemos ver Andrómeda, la galaxia del Triángulo y la Vía Láctea en todo su esplendor**. Sin embargo, no somos capaces, todavía, de reconocer el Sistema Solar.

De las tres galaxias grandes, Andrómeda es la mayor. Tiene un diámetro aproximado de 220.000 años-luz, casi el doble que el de la Vía Láctea, que es de unos 120.000 años-luz. **La galaxia del Triángulo es más pequeña,** con unos 60.000 años-luz de diámetro, y es posible que sea una galaxia satélite de Andrómeda. Pero no por ello es menos especial. A pesar de estar a 3.000.000 de años-luz de la Tierra, es posible observarla a simple vista desde un cielo completamente oscuro y sin contaminación lumínica. **Es el objeto más distante que se puede observar** sin instrumentos desde la superficie de la Tierra. La galaxia de Andrómeda, que también se puede observar a simple vista, está algo más cerca, a unos 2,5 millones de años-luz.

Junto a estas tres galaxias, tenemos una legión de galaxias satélite entre las que hay varias que destacar. Es el caso de **Messier 32**, que acompaña a Andrómeda y encaja en la definición de **galaxia elíptica**. Tiene una forma poco definida, no está formando nuevas estrellas y **la mayor parte de sus estrellas son viejas**, emitiendo el característico tono amarillo y anaranjado que vemos en muchas galaxias elípticas en otros lugares del universo.

Sin embargo, lo que **no está tan claro es cómo se convirtió Messier 32 en una galaxia elíptica.** Es probable que sea consecuencia de la interacción gravitatoria con Andrómeda. Pero, en cualquier caso, **nos permite recordar que hay muchas cosas aún pendientes de comprender.** No solo en los lugares más remotos del cosmos, también aquí mismo, en lo que, dentro de la perspectiva cósmica, vendría a ser el jardín de nuestro hogar.

Algunas de esas galaxias satélite que podemos observar en el Grupo Local **están interaccionando con las galaxias grandes.** Es el caso de **la galaxia enana elíptica de Sagitario**, que presenta el aspecto más llamativo de las que podemos ver. **Rodea a la Vía Láctea en una órbita polar**, de tal manera que parte de la galaxia está por encima del plano de la nuestra y parte por debajo. Aunque pueda parecer increíble, **está chocando con nuestra galaxia. Está siendo lentamente absorbida por la Vía Láctea** (en el extremo opuesto a la ubicación de la Tierra) **en un proceso que todavía durará millones de años.**

Mención especial merecen dos galaxias enanas que te pueden resultar muy familiares si vives en el hemisferio sur: me refiero a **las Nubes de Magallanes. La Gran Nube de Magallanes, que se encuentra a 163.000 años-luz, es la cuarta galaxia más grande del Grupo Local.** Solo la superan las tres que ya he mencionado anteriormente: Andrómeda, la galaxia del Triángulo y la Vía Láctea. **Tiene un tamaño de unos 14.000 años-luz y su aspecto es irregular.** Presenta una barra espiral, como la que nuestra galaxia tiene en su centro. No obstante, la estructura de sus brazos es poco reconocible por las interacciones gravitatorias con la Vía Láctea y, principalmente, con la Pequeña Nube de Magallanes. Desde el hemisferio norte de la Tierra no se puede ver, a menos que estés en latitudes por debajo de 20° N. Sin embargo, si estás en el hemisferio sur, podrás reconocerla como una tenue nebulosidad entre las constelaciones Dorado y Mensa. Su tamaño aparente en el cielo es unas 20 veces el de la Luna, aunque solo podrás verla en lugares que tengan poca contaminación lumínica.

Una de las particularidades que definen a **las galaxias enanas** es que **suelen encontrarse en un proceso muy intenso de formación de estrellas** y, en este caso, tampoco es una excepción. De hecho, aquí es donde encontramos **una de las regiones más grandes de formación de estrellas**

que podemos encontrar dentro del Grupo Local: **la nebulosa de la Tarántula**. No solo es una de las más grandes; **es, también, la más activa**. Es una nebulosa muy brillante, iluminada por la luz de las estrellas en su interior. Tanto que, **si estuviese en la Vía Láctea, en el lugar de la nebulosa de Orión, a unos 1.400 años-luz de nuestro planeta, la nebulosa de la Tarántula proyectaría sombras en la superficie de nuestro mundo**.

Por si todo esto no fuera suficiente, la nebulosa de la Tarántula fue el lugar en el que, en 1987, se produjo una supernova. Fue visible, en el hemisferio sur, a simple vista durante un tiempo, y fue la primera oportunidad que tuvimos, en la astronomía moderna, de estudiar uno de los fenómenos más violentos del universo.

Si alejamos nuestra vista de la Gran Nube de Magallanes, observaremos un pequeño puente de material que se pierde en la distancia. Es **el Puente de Magallanes, que conecta a la Gran Nube de Magallanes con la Pequeña Nube de Magallanes**. Esta última se encuentra algo más lejos, **a unos 200.000 años-luz de la Vía Láctea**. Solo tiene **7.000 años-luz de diámetro**, pero también es visible desde el hemisferio sur.

Aunque no llama tanto la atención como su hermana mayor, en la Pequeña Nube de Magallanes también encontramos lugares de formación de estrellas, como es el caso de N90, que rodea al cúmulo abierto NGC 602. **Un cúmulo abierto es una agrupación de jóvenes estrellas que se han formado recientemente; es decir: en los últimos millones de años**.

Reanudamos nuestro viaje hacia nuestro destino final. El firmamento que podemos observar a nuestro alrededor nos es cada vez más familiar. Dejamos atrás las galaxias satélite y **nos adentramos en la Vía Láctea**. Nuestro hogar. **Una galaxia espiral barrada** que, vista desde la distancia, no destacaría por encima de otras galaxias espirales barradas.

Un observador, desde alguna otra galaxia distante, no podría sospechar que, en las afueras de esta colección de estrellas y gas, hay un planeta habitado por criaturas inteligentes. Pero, **con la Vía Láctea ya ante nuestros ojos, solo podríamos indicar el lugar general en el que se encuentra el Sistema Solar**. Son los bellos brazos espirales los que captan nuestra atención, así como la barra central en torno a la que todo gira.

Nuestra nave continúa el lento viaje hacia el Sistema Solar. **En el centro de la galaxia encontramos un agujero negro supermasivo**. Creemos que todas las galaxias grandes tienen uno. El nuestro se llama **Sagitario A***, que se lee «Sagitario A estrella». Es el lugar más caótico y más activo de nuestro hogar en este vasto y ancho universo.

El centro de la Vía Láctea presenta una protuberancia, formada por multitud de estrellas. Es **el bulbo galáctico, una de las primeras pistas de que nuestra galaxia es espiral y no elíptica**. ¿Cómo lo sabemos? **Basta observar otras galaxias a nuestro alrededor**.

En ese viaje desde los confines del cosmos, **hemos podido ver muchas galaxias espirales**. **Todas presentan esa protuberancia central**. Algo que no es común a **las galaxias elípticas**, que, en cambio, **muestran en su lugar un aspecto mucho más difuminado**. También nos llaman la

atención **los brazos espirales, que son regiones de estrellas que se extienden desde el centro de la galaxia.** Es aquí donde, en las galaxias de este tipo, encontramos muchas estrellas jóvenes que brillan con una llamativa luz azul.

Nuestro Sistema Solar está dentro de uno de esos brazos espirales. Lo llamamos **el brazo de Orión**, y tiene unos **3.500 años-luz de ancho y unos 10.000 de largo.** Es **aquí** donde encontramos algunos de los objetos más famosos que se pueden observar en el firmamento terrestre. Como **la estrella Betelgeuse, que se encuentra en la fase final de su vida** y que, en algún momento del futuro, explotará en forma de supernova. Quizá en el próximo millón de años, apenas un suspiro en la escala cósmica. Pero, a pesar de lo que algunos catastrofistas anuncian, **el final de Betelgeuse no supondrá un peligro para la Tierra.** Está demasiado lejos para que las consecuencias de su explosivo final nos afecten de manera significativa.

Junto a Betelgeuse, hay otros objetos célebres en esta constelación que nos indican que estamos acercándonos a nuestro hogar. Uno de ellos es la **nebulosa de Orión.** Es **una de las nebulosas más brillantes que se puede observar** desde la Tierra y se encuentra **a 1.344 años-luz.** Se puede ver a simple vista, sin la necesidad de utilizar instrumentos astronómicos. **Es la región de formación de estrellas más cercana a nuestro planeta.**

¿Te has preguntado alguna vez **dónde está el centro de la galaxia?** Se encuentra en la dirección de **la constelación de Sagitario,** aunque **no lo podemos observar de manera directa porque las nebulosas y las estrellas que hay entre nosotros bloquean su visión.** Para poder verla hace falta recurrir a instrumentos que nos permiten observar otras longitudes de onda.

El reino de **Sagitario A*** es mucho más activo de lo que se podría pensar. Allí encontramos multitud de estrellas. **En un radio de solo 3,26 años-luz** —menos de la distancia que separa al Sol de Alfa Centauri, el sistema estelar más próximo— **hay unos 10 millones de estrellas.** Muchas de ellas son viejos astros que están en las últimas etapas de su vida, aunque también hay lugar para estrellas más jóvenes que se formaron hace pocos millones de años.

En la actualidad, el centro de la galaxia no parece estar formando nuevas estrellas, aunque se cree que la actividad **podría volver a reanudarse en unos 200 millones de años,** porque se ha detectado que se está acumulando una gran cantidad de material. En ese momento, durante un tiempo, **el centro de la Vía Láctea verá nacer estrellas a un ritmo muy elevado. Quizá cien veces más rápido de lo normal.** Algo que también afectará a la frecuencia de supernovas observables en esta región. El centro de nuestra galaxia es uno de los objetos de estudio de la astronomía moderna.

Nuestro viaje va tocando a su fin. En la distancia, delante de nuestra nave, podemos ver ya **una estrella que no parece tener nada de especial** en comparación a otras enanas amarillas. Pero es muy especial para nosotros. Es el motor del Sistema Solar: **el Sol.**

Estamos a unos 25.000 años-luz del centro de una galaxia que tiene unos 120.000 años-luz de diámetro. Si hiciésemos una analogía con una gran ciudad, vivimos en el extrarradio. Lejos de toda la acción, pero también lejos de los lugares más solitarios de la Vía Láctea. Es desde este

punto, aquí, en un pequeño planeta rocoso del montón, donde hemos adquirido el conocimiento que nos permite comprender el universo en sus escalas más grandes. **Desde nuestro mundo, podemos estudiar no solo los filamentos galácticos que recorren cientos de millones de años-luz, sino también el bullicioso centro de nuestra galaxia.**

Por fin nos acercamos hacia nuestro destino, un pequeño planeta rocoso que destaca por su llamativo color azul: una señal de que tiene océanos formados por agua líquida. Al abrigo de una estrella en la mitad de su vida, se encuentra un sistema planetario que resulta tan fascinante como familiar. El Sistema Solar es nuestro hogar en la vasta inmensidad de un cosmos en el que nuestra galaxia, vista en su escala más grande, parece comparable apenas a un átomo. **Esta pequeña canica azul es el único hogar del ser humano.** Un pequeño barrio perdido en una inmensidad de polvo y gas. **Un barrio que se fundó hace 4.500 millones de años...**

CAPÍTULO II

UNA ESTRELLA CUALQUIERA EN UNA GALAXIA CUALQUIERA

La historia del Sistema Solar comenzó a andar mucho antes de que apareciese el Sol. Nuestra estrella, junto a otras, se formó en el interior de una nebulosa: una nube de gas y polvo estelar que se extiende a lo largo de años-luz. **Hemos visto esas fábricas de estrellas en nuestro vecindario cósmico.** Como **la nebulosa de Orión**, a 1.344 años-luz, o **la nebulosa del Águila**, a 7.000 años-luz. Esta última es **el hogar de los famosos Pilares de la Creación**, fotografiados por el telescopio Hubble.

Es aquí, en el interior de estas gigantescas nubes, donde comienza la vida de nuevas estrellas. Todo empieza cuando una región de la nebulosa colapsa sobre sí misma. El material que la compone no está repartido de manera uniforme. Hay lugares de la nube que son más densos que otros. Cuando en uno de ellos se acumula suficiente material, se contrae sobre sí mismo. La gravedad atrae su materia hacia el centro, comprimiéndose y atrayendo consigo, en el proceso, mucho más material de la nube.

En el caso del Sol, este proceso pudo durar unos 10 millones de años. Seguramente tuvo una duración similar para otras estrellas de su mismo tipo. Es lo que conocemos como la fase de la protoestrella. **Un embrión que, si llega a acumular suficiente material, será capaz de desencadenar la fusión nuclear en su núcleo.**

Si, por el contrario, la fusión nuclear no llega a tener lugar, nos encontramos ante una enana marrón. Un objeto más masivo que un planeta, pero menos que una estrella. De una misma nube molecular, el tipo de nebulosa que da lugar a la formación de estrellas, pueden surgir miles de estrellas y enanas marrones antes de que se agote su material.

Tras 10 millones de años acumulando material, llegó un momento en el que **la protoestrella del Sol comenzó el proceso de fusión.** Había crecido lo suficiente para convertirse en una joven estrella. Su potente viento solar impidió que siguiese cayendo más material. Pero **nadie que lo hubiera podido observar desde la distancia habría sido capaz de averiguar que nuestro Sol acababa de nacer.** **Las protoestrellas, incluso después de iniciar la fusión, están envueltas por polvo y gas.**

Parte de ese material se convierte en un disco alrededor del joven astro. Es lo que llamamos **el disco protoplanetario.** Es la **cuna de los futuros objetos que compondrán el sistema planetario** del astro. A partir de ese momento, comienza una carrera contrarreloj de varios millones de años de duración en los que **el Sol está rodeado por el disco de material que**

definirá su vecindario planetario. Durante este tiempo —que, aunque podría parecer mucho, es poco en la escala astronómica—, a medida que nuestra joven estrella se calentaba, se iba evaporando el gas que la rodeaba. Es decir, los planetas, satélites y resto de objetos que conforman el Sistema Solar que conocemos hoy en día dispusieron de un tiempo muy limitado para acumular el material que les daría forma.

Lo cierto es que tenemos una idea bastante clara sobre cómo nacen las estrellas. Sabemos que en una nube molecular pueden colapsar muchas regiones. Cada una de ellas es la cuna de futuras estrellas. **Nuestro Sol**, en ese sentido, **tiene estrellas hermanas en la Vía Láctea.** ¿Cuántas exactamente? Es complicado saberlo. Durante varios millones de años, nuestra estrella estuvo acompañada por sus hermanas, formando lo que conocemos como un cúmulo abierto. Una agrupación de jóvenes estrellas que se mantienen unidas por su gravedad. Con el paso del tiempo, estas terminan dispersándose, emprendiendo diferentes caminos. En cierto modo, es como un grupo de hermanos que sigue caminos diferentes cuando llega el momento de madurez.

Algunas de esas estrellas hermanas serían similares a la nuestra, con un tiempo de vida parecido. **Otras serían más grandes**, masivas y, por tanto, con un tiempo de vida más breve. Sin duda, también, habría **otras estrellas más pequeñas**, menos masivas, y con un tiempo de vida que será mucho más largo que el del Sol.

Lo que no tenemos tan claro, sin embargo, es **cuál es el proceso que tiene lugar en el disco protoplanetario y que permite la formación de los futuros planetas y satélites.** ¿Cómo sucedió? **Solo podemos hacernos preguntas en función de lo que vemos en nuestro propio Sistema Solar.** Los astrónomos han trabajado en varios modelos para intentar explicarlo. **Un modelo es una simulación**, por ordenador y apoyándose en diferentes cálculos, **que permite a los astrónomos estudiar cómo evolucionaría un objeto** (en este caso un disco protoplanetario) en función de diferentes suposiciones.

Es posible que los planetas se formen por etapas, comenzando con objetos muy pequeños que van creciendo. En cierto modo, lo podemos imaginar como un proceso similar al de la formación del Sol, que fue acumulando materia de manera gradual. A este modelo, los astrónomos lo llaman **modelo de acreción del núcleo.** Su principal ventaja es que nos **permite explicar cómo se formaron los planetas rocosos** (Mercurio, Venus, la Tierra y Marte). No obstante, nos plantea dudas sobre cómo se formaron los gigantes gaseosos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno).

La historia sería la siguiente: tras el nacimiento del Sol, el resto del material a su alrededor comenzó a acumularse en diferentes lugares. Las partículas pequeñas se fueron uniendo constantemente, dando lugar a otras más grandes. Como el Sol ya estaba activo, su viento solar expulsó el helio y el hidrógeno de las regiones más cercanas. Así que, cerca de la estrella, solo quedaron los materiales más pesados, que formarían los planetas rocosos. En las regiones más lejanas, donde el viento solar no era tan intenso y el helio y el hidrógeno sí pudieron acumularse, se formaron los gigantes gaseosos.

Sobre el papel, el modelo de acreción funciona bastante bien. Nos permite explicar, también, la formación de asteroides y satélites. Sin embargo, el principal problema que nos plantea es que

alcanzar el tamaño de planetas como Júpiter o Saturno es un proceso lento. Así que es posible que no hubiese suficiente tiempo para que se acumulase el material necesario para crearlos. Es un modelo que funciona muy bien con lo más pequeño, pero no tanto con lo más grande...

Eso nos lleva al **segundo modelo, el de inestabilidad del disco**, que nos plantea que el proceso sería el inverso. Es decir, **sugiere que se formaron acumulaciones de gas y polvo muy rápido**. Con el paso del tiempo, esas acumulaciones se compactaron en planetas gigantes. En este escenario, los planetas gigantes podrían tardar solo 1.000 años en formarse, atrapando todo el gas y polvo que les daría forma, antes de que el Sol evaporara ese material.

De todas formas, este modelo plantea sus propias dudas. ¿Es posible que un disco protoplanetario se enfríe tan rápido como para permitir esa formación? Quizá sea algo que solo pueda suceder a grandes distancias de la estrella. A lo mejor, en realidad, los dos mecanismos explicarían la formación de planetas a diferentes distancias. La única forma de saberlo es analizar otros mundos, que giran alrededor de otras estrellas. HD 149026 b, un exoplaneta descubierto en 2005, destaca por tener un núcleo gigantesco formado por elementos más pesados que el helio y el hidrógeno. Los planetas gigantes no tienen, necesariamente, un núcleo rocoso, sino uno formado por elementos que se encuentran en unas condiciones de presión y temperatura extremas. Algo que apoyaría al modelo de acreción. Sin embargo, en la ciencia hacen falta muchas evidencias para poder determinar, sin lugar a duda, que una u otra hipótesis es la correcta. Si bien es cierto que la hipótesis más aceptada y considerada más probable es la del modelo de acreción del núcleo.

A estos modelos podemos sumarles otros. Quizá el más llamativo, aunque no es tan popular como los dos que he mencionado anteriormente, es **el modelo de acumulación de guijarros**. A decir verdad, le encuentro cierta belleza porque nos recuerda al mundo animal. Es **una especie de supervivencia del más fuerte aplicado a la astronomía**. En este modelo, se plantea que los planetas se forman a partir de acumulación de guijarros.

Los guijarros son, simplemente, pequeños fragmentos de material, de apenas unos pocos centímetros de tamaño. Con el paso del tiempo, se forman acumulaciones de material de diferentes tamaños. Los más grandes dominan su entorno y expulsan de las inmediaciones a los de tamaño medio y más pequeño. Dicho de otro modo, se convierten en los reyes de la sabana astronómica y pueden seguir acumulando material. De tal manera que son, finalmente, los fragmentos más grandes los que sobreviven.

Aunque no tener una respuesta definitiva sobre cómo se formó el Sistema Solar puede parecer decepcionante, es una demostración de cómo funciona la astronomía. Al igual que el resto de la ciencia, consiste en plantear hipótesis, observar nuestro entorno y comprobar qué puntos son correctos y cuáles no. Con cada año que pasa, nuestro conocimiento continúa creciendo.

La observación de otros mundos, lejos del Sistema Solar, nos ha llevado a comprender que los gigantes gaseosos, probablemente, no se formaron en la ubicación que ocupan en la actualidad. Más bien, debieron de formarse mucho más cerca del Sol y fueron migrando a su ubicación actual a lo largo de millones de años. Es otro modelo que nos plantea un origen diferente del Sistema Solar. **Lo conocemos como el modelo de Niza**, puesto que fue planteado en

esta ciudad francesa.

En este escenario, se explica que **los planetas gigantes estaban rodeados por un enorme disco formado por multitud de fragmentos de roca y hielo** (que serían futuros cometas y asteroides) que se extendería hasta lo que es hoy la órbita de Neptuno, a unos 4.500 millones de kilómetros de distancia del Sol. **La interacción gravitatoria de los planetas gigantes con esos objetos pequeños, según este modelo, provocaría un intercambio de energía, haciendo que Saturno, Neptuno y Urano se fuesen desplazando hacia las afueras del Sistema Solar.**

Después de algún tiempo, esos objetos terminaron llegando, también, a Júpiter (que estaba más cerca del Sol). La gravedad del planeta más grande del Sistema Solar provocó que muchos de esos objetos fuesen expulsados del Sistema Solar o, en el mejor de los casos, terminasen en las regiones más exteriores.

El modelo de Niza nos invita a imaginar un gran baile planetario. Las interacciones entre Saturno y Júpiter afectaron a las órbitas de Neptuno y Urano, provocando que se volviesen más excéntricas (es decir, menos circulares) y que, a su vez, se encontrasen con más regiones de pequeños objetos de roca y hielo. Parte de ese material saldría despedido hacia el interior y, por tanto, hacia los planetas rocosos, mientras que otra parte sería alejada todavía más.

Este modelo, además, es interesante por dos motivos. Por un lado, **explica cómo se habría formado el cinturón de Kuiper**, una región del Sistema Solar que destaca por estar repleta de millones de pequeños objetos de roca y hielo. **Es el lugar en el que, también, encontramos a Plutón**, que durante muchos años fue considerado un planeta. Por otro lado, indica que las órbitas de Neptuno y Urano se intercambiaron en algún momento, enviando al primero más lejos.

¿Cuál de todos estos modelos es la respuesta correcta? El modelo más popular es, sin duda, el de acreción, pero todos tienen mérito al proporcionar diferentes respuestas.

El modelo de Niza nos enseña algo que podemos ver incluso en la actualidad en el Sistema Solar: **la importancia de Saturno y Júpiter.** Porque los dos planetas más grandes no son solo impresionantes a nivel visual. Su presencia es un factor muy importante en el Sistema Solar. **Sus interacciones gravitatorias han moldeado nuestro pequeño vecindario cósmico a lo largo de miles de millones de años.**

Hay varias preguntas que siempre han intrigado a los astrónomos. **¿Por qué Marte es, aproximadamente, la mitad de grande que Venus y la Tierra?** La teoría dice que su tamaño final debería haber sido muy similar al de ambos planetas. **¿Y qué pasa con el cinturón de asteroides que se encuentra entre Marte y Júpiter? Está compuesto tanto por objetos rocosos, cuyo origen estaría cerca de nuestra estrella, como por objetos helados, que tienen que proceder de las regiones más alejadas del Sistema Solar.**

La respuesta es tan fascinante como intrigante. Es posible que Júpiter no siempre haya sido el quinto planeta, por distancia, del Sistema Solar. Puede que, **en sus inicios, fuese un planeta peregrino.** Digo «puede» porque, de nuevo, estamos ante una hipótesis. Es la llamada hipótesis

del Grand Tack, a la que yo me tomo la licencia de llamar «**la gran travesía de Júpiter**».

La hipótesis sitúa la acción hace 4.500 millones de años. **Los astrónomos creen que Júpiter se formó a unos 500 millones de kilómetros del Sol. En la actualidad se encuentra algo más lejos, a unos 780 millones de kilómetros.** Según el modelo de la gran travesía, **el planeta gigante se vio atrapado en la corriente del gas que todavía giraba alrededor del Sol a esa distancia, provocando que se fuese acercando hacia nuestra estrella.** Quizá hasta llegar a estar tan cerca como Marte en la actualidad, a poco más de 225 millones de kilómetros.

¿Qué fue lo que detuvo el movimiento de Júpiter? La respuesta, según esta hipótesis, fue Saturno. Este último también se vio atrapado en aquellas corrientes que le atraían hacia el interior del Sistema Solar. Sin embargo, llegó un momento en el que se acercó lo suficiente a Júpiter para expulsar el gas que había entre ambos planetas, permitiendo que cesase el movimiento de aproximación. De no haber sido así, quizá ambos planetas hubiesen chocado con nuestra estrella. O bien, si no hubiera llegado a suceder, estarían en órbitas mucho más cercanas que la que separa a Mercurio del Sol.

Poco a poco, **tras frenar esa espiral destructiva, los dos planetas comenzaron a alejarse, hasta que Júpiter llegó a su distancia actual, mientras que Saturno hizo una pausa a unos 1.050 millones de kilómetros.** Algo más tarde, las interacciones gravitatorias fueron las que movieron a Saturno hasta alcanzar los 1.429 millones de kilómetros en los que está actualmente.

Si la hipótesis fuese cierta, algo que no podemos comprobar, entonces tenemos dos preguntas que hacernos. La primera, **¿cómo sobrevivió el cinturón de asteroides que separa a Marte de Júpiter?** La respuesta estaría en que **la migración del gigante gaseoso fue lo suficientemente lenta** para que su gravedad no destruyese la región del cinturón. En su lugar, se produjo un intercambio de posiciones. La segunda es el tamaño de Marte, que es más pequeño de lo que debería.

El paso de Júpiter por el interior del Sistema Solar debió de dispersar parte del material del que Marte habría dispuesto para formarse. En teoría, el planeta debería tener un tamaño muy similar a la Tierra y Venus. **¿A dónde fue a parar ese material que fue expulsado de su región?** Precisamente a ambos planetas rocosos, la Tierra y Venus, que lo aprovecharon en su formación.

Personalmente, la hipótesis de la gran travesía de Júpiter y Saturno me gusta porque nos permite ilustrar la importancia de los planetas gigantes. **En la actualidad creemos que Júpiter podría actuar como una suerte de escudo,** atrayendo el impacto de asteroides y cometas que, de otro modo, chocarían con los planetas interiores. Si bien **igualmente se ha planteado que, al contrario, su inmensa gravedad podría desestabilizar otros objetos y provocar que haya más impactos, en el interior del Sistema Solar, de los que experimentaríamos si Júpiter no estuviese ahí.**

Esta es solo una de las formas de explicar lo que podemos observar a nuestro alrededor. **No tenemos la grabación de la evolución del Sistema Solar.** Así que es necesario hacerse preguntas que nos permitan intentar explicar lo que vemos. Sin ir más lejos, es posible que el cinturón de

asteroides, en ausencia de un mundo como Júpiter, hubiese podido acumular su material para dar lugar a la formación de un planeta en esa región del espacio.

No solo tenemos incógnitas respecto al pasado de nuestro Sistema Solar, sino también respecto al presente. ¿Cuántos planetas se formaron alrededor del Sol? Es posible que fuesen más de los ocho que conocemos en la actualidad. Algunos de ellos, quizá, fueron expulsados de este pequeño rincón de la Vía Láctea por diferentes interacciones gravitatorias. **Podrían ser planetas errantes, que no tienen una estrella que los ilumine y, en su lugar, orbitan al centro de la galaxia.** Se calcula que podrían existir miles de millones de mundos así solo en nuestra galaxia.

Otra posibilidad es que alguno de esos planetas terminase en una órbita mucho más alejada que la que ocuparía originalmente. Desde 2015, **se plantea que podría existir un noveno planeta en las afueras del Sistema Solar. Mucho más allá de Neptuno y de planetas enanos como Plutón. Ese hipotético planeta, al que llamamos Planeta Nueve, estaría a unas 700 veces la distancia que separa la Tierra del Sol.** Si realmente existe, la Asociación Astronómica Internacional le pondrá un nombre mejor, no te preocupes.

Su existencia (o no) es muy interesante, porque nuestro vecindario cósmico nos plantea algunas preguntas cuando lo comparamos con los sistemas planetarios que hemos descubierto en las últimas décadas. Dos de los exoplanetas (es decir, planetas que orbitan a otras estrellas) más comunes son la llamada «supertierra» (un planeta rocoso varias veces más masivo y grande que la Tierra) y el «minineptuno» (un planeta gigante helado, más pequeño que Neptuno). Ambos son relativamente abundantes, apareciendo en muchos de los sistemas planetarios que hemos observado. Y, sin embargo, **no hay ningún planeta que cumpla esa definición en el Sistema Solar. El Planeta Nueve bien podría ser una supertierra o un minineptuno. Pero ¿cómo es posible que nos estemos preguntando si existe un noveno planeta y tengamos una idea aproximada de cuál podría ser su tamaño?**

Más allá de Neptuno, hay ciertos objetos que tienen órbitas muy llamativas. Su punto más cercano al Sol está aproximadamente a la misma distancia y todos están, si lo viésemos desde arriba, en el mismo lado del Sistema Solar. Eso hace pensar a los investigadores Mike Brown (1965, Estados Unidos) y Konstantin Batygin (1986, Rusia) que se podría deber a la presencia de un planeta que se encontraría, aproximadamente, en el extremo opuesto.

A partir de las órbitas que describen esos objetos, es posible deducir diferentes propiedades que debería cumplir un hipotético planeta. Debería, por ejemplo, tardar entre 10.000 y 20.000 años en completar una vuelta al Sol. Esto es mucho más tiempo de lo que tarda Plutón (248 años). Además, debería ser entre 10 y 20 veces más masivo que nuestro planeta. Eso lo colocaría dentro de esa clasificación de supertierra o minineptuno. No obstante, a pesar de ser tan grande, la distancia a la que está hace que sea muy difícil su detección, porque su brillo es muy inferior al de Plutón.

Si finalmente se confirmase su descubrimiento, su estudio nos resultaría muy útil. Los astrónomos podrían comprender mejor cuáles son las propiedades de estos mundos que podemos encontrar en otros sistemas planetarios y, también, nos ayudaría a entender que nuestro Sistema

Solar no es muy diferente de lo que podemos ver ahí fuera (algo que ya se está confirmando a través de los sistemas planetarios que se están descubriendo).

Es posible que su descubrimiento, o el descarte de su hallazgo, tarde muchos años en llegar. Encontrar un planeta en las afueras del Sistema Solar es como buscar una aguja en un pajar. Aunque sepas, aproximadamente, dónde ha caído la aguja, tendrás que armarte de paciencia para encontrarla.

Vivimos al abrigo de una estrella del montón en una galaxia cualquiera. En el estudio de la galaxia, se ha comprendido que **hay miles de millones de estrellas como el Sol.** Sin ir más lejos, **Alfa Centauri A, a 4,37 años-luz del Sistema Solar, es una estrella muy similar a la nuestra.** Tiene una edad muy parecida, unos 4.400 millones de años, frente a los 4.600 millones del Sol.

El sistema de Alfa Centauri, formado por las estrellas Alfa Centauri A, Alfa Centauri B y Próxima Centauri es el más cercano al nuestro. No mucho más lejos, **a 11,9 años-luz, nos encontramos con Tau Ceti, una estrella similar al Sol,** pero algo más vieja, con unos 5.800 millones de años. **A 19,8 años-luz está 82 Eridani,** con 6.100 millones de años, y **a 19,9 años-luz Delta Pavonis, con unos 7.000 millones de años.**

Son solo algunos de los ejemplos de estrellas que, en la escala cósmica, están muy cerca. Muchas de los miles de millones de estrellas como el Sol tendrán un sistema planetario a su alrededor. Por eso, **se calcula que podría haber miles de millones de planetas rocosos que tengan unas condiciones parecidas a las de la Tierra.** Es decir, que estén a la distancia necesaria para que puedan tener agua en estado líquido en su superficie y un tamaño similar al de nuestro mundo. **Algo que nos hace entender que vivimos en un lugar perfectamente ordinario.** Pero, lejos de dejar que esa noción te haga sentir poco especial, considera lo siguiente.

La próxima vez que levantes la vista al cielo, observa las estrellas con atención. Muchas de ellas, probablemente, tengan sus propios mundos a su alrededor. Puede que esa estrella en particular que estés observando sea similar al Sol y que, en ella, haya un planeta rocoso similar a la Tierra. En su superficie, hace miles de millones de años que la vida comenzó a andar e, igual que aquí, evolucionó hasta que aparecieron criaturas inteligentes capaces de observar su mismo firmamento. Quizá estén observando nuestra estrella, en su cielo, que parece perfectamente normal desde la distancia, preguntándose si, como la suya, tiene un mundo en el que sus habitantes hayan evolucionado hasta el punto de poder hacerse preguntas sobre el universo. Esa es la belleza de vivir en un planeta cualquiera en una estrella del montón.

Con el desarrollo de nuestra tecnología, en los próximos años, **seguiremos descubriendo sistemas planetarios alrededor de otras estrellas.** Algunos de ellos serán sorprendentemente similares al Sistema Solar, otros serán completamente diferentes, con planetas en lugares muy diferentes a los que estamos acostumbrados a ver. Por ejemplo, **conocemos estrellas en las que los gigantes gaseosos sí terminaron cerca de sus astros.** Los conocemos como «**júpiteres calientes**» porque, aunque tienen un tamaño similar al del gigante del Sistema Solar, se encuentran a muy poca distancia de sus astros. **Son mundos que completan una vuelta alrededor de su estrella en apenas unos pocos días,** experimentando una temperatura mucho más elevada que la

de Júpiter.

También hemos visto sistemas, en torno a estrellas más pequeñas que el Sol, que parecen de bolsillo. Es el caso de **TRAPPIST-1, un sistema planetario formado por siete planetas**. Todos ellos orbitan a una distancia más pequeña que la que separa a Venus del Sol. O **Próxima b, un planeta rocoso**, con un tamaño similar a la Tierra, que gira alrededor **de Próxima Centauri**, una estrella mucho más pequeña y fría que el Sol. Todos estos son solo algunos de los ejemplos de los mundos que hemos observado en la Vía Láctea, y solo hemos visto una ínfima parte de los mundos que la forman.

Además, **la Vía Láctea**, con sus 200.000 millones de estrellas, **es solo una de las muchas galaxias que componen el universo observable**. Se calcula que podría haber hasta 200.000 millones de galaxias. Cada una de ellas con sus incontables estrellas y planetas rocosos...

Si el Sol es una estrella del montón es porque, en realidad, su origen es común al del resto de estrellas de la Vía Láctea. Todas ellas nacieron en nubes moleculares, al tiempo que veían cómo se formaban sus mundos. **Todas ellas partieron con los mismos elementos**, aproximadamente, que podemos encontrar en este pequeño rincón de la galaxia. Porque, **si nos remontamos en el tiempo, veremos que somos la consecuencia de una sucesión de eventos que lleva produciéndose miles de millones de años**.

Ese camino nos lleva a un punto de origen común para todo lo que podemos observar, para todas esas estrellas y esos mundos. **Un punto que comenzó hace 13.800 millones de años**. Fue el **Big Bang**, el nacimiento mismo del espacio y, con él, del tiempo...

A ese período inicial le siguió la época de la Gran Unificación, que duró hasta 10^{-36} segundos tras el Big Bang. Fue en ese momento cuando **la gravedad se despegó del resto de fuerzas fundamentales del universo**. Las otras tres permanecieron unidas en una fuerza llamada electronuclear. A pesar de que apenas había pasado una fracción del tiempo, el universo ya se estaba enfriando. De hecho, se enfrió lo suficiente para permitir que se produjesen dos fenómenos diferentes.

Por eso, se dice que **empezaron dos eras diferentes pero simultáneas: la era electrodébil y la era inflacionaria**. La era electrodébil indica que **la interacción nuclear fuerte se despegó de las otras dos fuerzas fundamentales** que permanecían unidas (la interacción nuclear fuerte y el electromagnetismo). **En la era inflacionaria encontramos la explicación para algunas cosas que podemos observar en la actualidad**. Por ejemplo, podemos ver que dos puntos separados por millones de años-luz tienen propiedades muy similares, es decir, es isótropo (que es como se llama a esa característica). **Esa homogeneidad indica que tuvieron que estar mucho más cerca mucho tiempo atrás**. ¿Cuándo? Justo antes de que se produjese la era inflacionaria.

Esta última tuvo una duración muy breve. Probablemente comenzó a los 10^{-36} segundos y terminó a los 10^{-33} o 10^{-32} . **Estamos muy lejos, todavía, de que se cumpla el primer segundo. En un tiempo un quintillón de veces inferior a lo que tardas en pestañear, el universo se expandió en un factor de 10^{26}** . Es como expandir un objeto de un nanómetro (0,00000001 metros), aproximadamente el radio de una molécula de ADN, y convertirlo en un objeto de 10,6 años-luz de diámetro. Es decir, pasar de tener un tamaño de 0,00000001 metros a 974.455.238.675.822.400 metros.

La temperatura del universo sigue bajando a medida que avanzamos en el proceso. Al final de la era inflacionaria, tan solo 10^{-32} segundos después del Big Bang, la temperatura había descendido hasta los 10^{22} Kelvin.

A los 10^{-12} segundos comienza **la época del quark**. En este momento, y sin que todavía hayamos llegado al primer segundo del universo, **las cuatro fuerzas fundamentales ya se habían separado en las que conocemos: gravedad, interacción nuclear fuerte, interacción nuclear débil y electromagnetismo**. Este período terminó a los 10^{-6} segundos. Lo conocemos como **la época del quark** porque el universo tenía demasiada energía para permitir que esa partícula se pudiese combinar para formar hadrones. En su lugar, el universo estaba formado por un plasma de quarks y gluones. **El quark es el bloque fundamental de la materia**. En la escala más pequeña, son sus cimientos. Los gluones, que transmiten la interacción nuclear fuerte, son algo así como el pegamento que mantiene unido a los quarks.

Fue a los 10^{-6} segundos cuando el universo se enfrió lo suficiente para permitir que quarks y gluones pudiesen, finalmente, combinarse. Había llegado **la época hadrónica**. Los quarks, por fin, pueden comenzar a combinarse, creando hadrones. Es decir, **protones y neutrones**. **A partir de este momento, sucede algo que nuestro conocimiento de la ciencia dice que no debería haber sucedido**. Los hadrones se formaron en pares con los antihadrones, su antipartícula.

Cuando una partícula y una antipartícula entran en contacto, se aniquilan mutuamente. Desde esta era en adelante, se crean pares de partícula y antipartícula. **Todo indica que el universo no debería existir, porque la materia y la antimateria deberían haberse aniquilado mutuamente, sin que una se impusiese a la otra.** Pero estás aquí, leyendo estas palabras, y eso quiere decir que, de algún modo que todavía no se ha logrado comprender, **la materia logró imponerse a la antimateria.**

La explicación más aceptada es que el enfriamiento progresivo del universo fue el causante de ese desequilibrio. De tal manera que, al final de cada época, quedaba una pequeña cantidad de quarks, hadrones y otras partículas que sobrevivían a las colisiones porque no había antipartícula con la que colisionar. La era hadrónica llegó a su fin justo con el primer segundo desde el Big Bang. En ese tiempo, tan breve para nuestra mente, el cosmos atravesó cambios extremadamente profundos. Pasó de estar concentrado en un tamaño inferior al de un átomo a tener una extensión de años-luz. Se calcula que, en ese primer segundo, el universo **medía unos 20 años-luz.** Casi cinco veces la distancia que separa al Sol del sistema de Alfa Centauri.

Desde el segundo 1 hasta el segundo 10 tras el Big Bang, tuvo lugar **la era leptónica.** Llamada así porque, en ese momento, **la mayor parte de la masa del cosmos estaba contenida en leptones.** Son partículas que no experimentan la interacción nuclear fuerte, como **los electrones o los neutrinos.** Durante ese tiempo, se formaron leptones y antileptones a partes iguales, mientras el proceso de enfriamiento continuaba. A los 10 segundos, solo una pequeña cantidad de leptones sobrevivieron. En ese momento arranca **la era fotónica,** porque eran **los fotones** los que representaban la mayor parte de la energía del universo.

Es complicado imaginar el universo en un momento así. **Estaba formado únicamente por núcleos, electrones y fotones.** Sin embargo, la temperatura todavía era demasiado alta para permitir que esos núcleos y electrones pudiesen combinarse. Fue a los 10 segundos cuando nos encontramos con otro momento realmente fascinante en la historia del universo. Tan solo duró hasta los 20 minutos tras el Big Bang. **En ese tiempo, 19 minutos y 50 segundos, se crearon todos los elementos del nacimiento del cosmos.** Formalmente, el proceso es conocido como «nucleosíntesis primordial».

A menudo, **en astronomía se habla de metales.** No obstante, su definición no es la que estamos acostumbrados a utilizar. En este campo de la ciencia, **hace referencia a todos los elementos que no se formaron durante el Big Bang.** Porque, en realidad, **en la concepción del cosmos solo se formaron tres: hidrógeno, helio y litio.** El proceso está ligado al enfriamiento progresivo del cosmos. **A los 10 segundos,** la temperatura era suficientemente baja para permitir que sobreviviese **el deuterio.** Es un **isótopo del hidrógeno.** O, si lo prefieres, una variante.

Los elementos químicos están compuestos siempre por la misma cantidad de protones, pero diferentes cantidades de neutrones. Así, todas las combinaciones con un único protón son isótopos de hidrógeno. El protio, por ejemplo, está compuesto por solo un protón. Es el isótopo más sencillo del hidrógeno. El deuterio, por su parte, está formado por un protón y un neutrón y en

ocasiones se representa como ^2H . También hay otras variantes, como el tritio, ^3H , formado por un protón y dos neutrones, si bien este es un isótopo inestable.

Así que, 10 segundos después del Big Bang, **el universo era lo suficientemente frío para que el deuterio pudiese permanecer unido**. Al mismo tiempo, todavía estaba lo suficientemente caliente para desencadenar multitud de reacciones nucleares. **El cosmos era**, en cierto modo, como **un gigantesco reactor nuclear**. Ese proceso de creación de elementos estaba teniendo lugar en todos los rincones del universo. Antes del arranque de la creación de elementos, **la proporción de protones a neutrones era de 6 a 1**. Al final, **a los 20 minutos, cambió a una proporción de 7 a 1**.

Un neutrón libre es inestable. Si en 880 segundos, algo más de 14 minutos, no se ha asociado a otra partícula, decae. Es decir, se convierte en un protón. **Durante esos 19 minutos y 50 segundos se crearon varios elementos** en multitud de isótopos: deuterio, tritio, helio-3, helio-4, así como berilio-7 y litio-7, ambos inestables. **La mayor parte de neutrones supervivientes terminaron unidos en helio-4**, una variante del helio formado por dos protones y dos neutrones. ¿Por qué este isótopo del helio y no otro? **Es el que tiene la energía de enlace nuclear más elevada**. O lo que es lo mismo, es muy difícil de destruir. En esos 20 minutos, **el elemento más pesado** (es decir, con mayor cantidad de protones) **que se formó fue el litio**. El resto de elementos tardarían todavía varios millones de años en nacer. Primero, el cosmos tenía que seguir adelante en su evolución.

Tras este período, **hubo que esperar a que el universo alcanzase los 379.000 años de edad**. En ese momento, se había enfriado lo suficiente, a una temperatura de 4.000 Kelvin, unos 3.726 °C para permitir que comenzase la siguiente época de su historia: **la época de la recombinación**. Es otro momento importante y muy relacionado con la astronomía moderna.

La época de la recombinación **indica el momento en el que los electrones y protones comenzaron a combinarse para formar átomos neutrales**. Hasta ese momento, **el universo era opaco a la luz**. Los fotones podían recorrer distancias muy cortas antes de chocar con algún electrón. A medida que los electrones se van combinando con los protones, la cantidad de espacio que pueden recorrer los fotones aumenta.

Poco a poco, el universo estaba comenzando a hacerse transparente. Esta época es la **más lejana de la que tenemos evidencias**. De hecho, podemos observar su huella en todas las direcciones en las que miremos, aunque es invisible al ojo humano. Para detectarlas, hace falta observar el espectro de microondas. Al hacerlo, observamos **la luz más antigua del universo: la radiación de fondo de microondas**.

Esa luz nos muestra el cosmos tal y como era tan solo 379.000 años después del Big Bang, cuando se calcula que tenía un diámetro aproximado de 84 millones de años-luz. Esta radiación resulta interesante por sí misma. **Su temperatura, en la actualidad, es muy baja**. Apenas está **ligeramente por encima del cero absoluto**, la temperatura más baja posible. Al observar el conjunto de la radiación en el universo, descubrimos que **hay una región con una temperatura un poco más baja**, y que conocemos como **la Gran Mancha Fría**. La veremos en más detalle en

un capítulo posterior, porque se han planteado muchas hipótesis sobre su posible origen.

Porque, ahora, es momento de volver a los primeros pasos del cosmos. **380.000 años después del Big Bang**, sucede algo que parece contradictorio. El universo entró en un período al que conocemos como **la Edad Oscura**. Marca el tiempo transcurrido entre la recombinación y la aparición de las primeras estrellas y galaxias. **No se sabe con certeza cuándo se formaron los primeros astros, pero se calcula que fue unos 150 millones de años después del Big Bang**. Por lo que, **durante ese período, el universo no tuvo una luz que lo iluminase**.

La radiación de fondo, a los 500.000 años, ya se había convertido en ondas del espectro infrarrojo, invisibles para el ojo del ser humano. Desde esa perspectiva, **un escriba del cosmos**, que hubiese documentado todo el proceso desde el inicio, **habría vivido una montaña rusa** de lo más llamativa. **Mientras en los primeros veinte minutos apenas hubiera podido escribir todo lo que sucedía, en los millones de años posteriores habría pasado mucho tiempo sin poder contar gran cosa**. En cierto modo, podemos decir que **toda la acción de los primeros 150 millones de años de existencia del universo se concentró en los primeros veinte minutos**.

Fue precisamente en ese momento, **150 millones de años después del Big Bang**, cuando por fin **el cosmos comienza a parecerse a lo que conocemos en la actualidad**. Es cuando **comenzaron a nacer las primeras estrellas y las primeras galaxias**. **¿Cómo eran esas primeras estrellas?** La teoría dice que **fueron mucho más masivas que el Sol**, y con una vida mucho más breve. También debieron de estar **formadas solo por los elementos disponibles tras el Big Bang** (principalmente hidrógeno).

En astronomía distinguimos diferentes poblaciones de estrellas, en función de la proporción de elementos que las compongan. Todas tienen, principalmente, una gran cantidad de hidrógeno. No es sorprendente si tenemos en cuenta que se trata del elemento más abundante del universo. No obstante, las estrellas más jóvenes, formadas en los últimos millones de años, presentan una mayor abundancia de metales, como es **el caso del Sol**. **Este pertenece a las estrellas de Población I**. En el grupo de **Población II**, encontramos **estrellas más viejas y con una cantidad de metales menor**.

Si seguimos andando hacia atrás, por tanto, **debió de haber un grupo de estrellas que estuviese formado solo por los elementos del Big Bang**, y el resto se formaron en el interior de los astros (y en colisiones entre sus restos estelares). A esta primera familia de estrellas del universo se la conoce como **Población III**. Sin embargo, **no se ha observado ninguna, por ahora**, que encaje satisfactoriamente en esa definición.

El estudio de las primeras etapas del universo resulta muy interesante para ayudarnos a comprender cuál fue su evolución. De todas formas, debido a las distancias tan extremas que nos separan de las primeras galaxias y estrellas, su estudio es muy complicado. Hay que recordar que, **cuanto más lejos miramos en el espacio, más nos adentramos en el pasado**. **El telescopio Hubble nos ha permitido estudiar algunas de las galaxias más lejanas y observar las diferencias con el universo local, el más cercano**. Una de las galaxias más lejanas que conocemos en la actualidad es **GN-z11**, que observamos tal y como era tan solo **400 millones de**

años después del Big Bang.

Fue durante esa época, con la radiación de las primeras estrellas, cuando los átomos neutrales de hidrógeno volvieron a ionizarse. Es decir, perdieron, de nuevo, sus electrones. Aun así, en esta ocasión el universo no se volvió opaco. La expansión del cosmos había provocado que la materia ya estuviese tan separada como para permitir que las interacciones entre fotones y electrones fuesen muy poco frecuentes. A partir de este punto, podemos avanzar dando pasos cada vez más grandes. Se estima que **los primeros cúmulos de galaxias pudieron formarse unos 1.000 millones de años después del nacimiento del universo.** Habría que esperar hasta **5.000 millones de años** para asistir a la formación de **los primeros supercúmulos de galaxias.**

Todo esto nos permite ver que existe **una conexión clara entre el pasado del universo y el momento presente.** Sin la existencia de aquellas primeras estrellas, nuestro Sol no sería el mismo. **Fue en el interior de los primeros astros donde se formaron algunos de los elementos más comunes del universo.** En el interior de esas primeras estrellas se formaron los primeros átomos de elementos como **el carbono o el oxígeno,** que desempeñan un papel fundamental en la vida tal y como la conocemos.

El hierro, el oro y la plata proceden de estrellas que murieron de forma explosiva hace miles de millones de años. Tras millones de años iluminando el cosmos, **los elementos que habían acumulado en su interior fueron esparcidos por sus alrededores.** Esto permitió que se pudiesen incorporar en las futuras estrellas y planetas que se formarían más adelante. Desde esa perspectiva, podemos decir que **para que una estrella como el Sol, y un planeta como la Tierra, pudiesen existir, era necesario que muchas otras estrellas surgiesen antes. Es un ciclo muy similar al de la vida.**

Las estrellas acumulan material durante su formación. Brillan durante un período determinado, dependiendo de su masa y, al final, parte de ese material termina siendo expulsado de nuevo al espacio, permitiendo que pueda ser incorporado por la siguiente generación. **Estamos hechos, literalmente, de los restos de antiguas estrellas que vivieron miles de millones de años antes que nosotros.** Eso quiere decir, también, que **en el futuro los elementos que componen el Sistema Solar estarán disponibles para la formación de estrellas que llegarán más adelante.**

De hecho, hay que decir que no solo las estrellas seguirán formándose y evolucionando durante los próximos miles de millones de años. **Las galaxias tampoco han dejado de formarse.** En tiempos recientes se han encontrado evidencias que apuntan a que, incluso hoy en día, **todavía podría haber nuevas galaxias que están en proceso de formación en otros lugares del universo.**

En el caso de **la Vía Láctea,** por si te pica la curiosidad, su edad varía de estudio a estudio, aunque se calcula que **debió de formarse, como pronto, hace 10.000 millones de años. Quizá sea más vieja y se formase incluso hace 13.000 millones de años.** El motivo para pensarlo está en estrellas como **HD 140283, a la que popularmente se conoce como Matusalén** y que **tiene una edad comparable a la del universo.** No es la única. En el centro de la galaxia se han observado estrellas con edades comparables, que apuntan a que **la galaxia pudo haberse formado**

muy poco tiempo después del Big Bang.

Llegados a este punto, es apropiado cambiar por un momento nuestra perspectiva. Sabemos que **el cosmos tuvo un inicio**. Por tanto, **cabe preguntarse si tendrá un final**. Puede resultar un tanto lúgubre pensar en esta cuestión, pero no hay que olvidar que **incluso las estrellas, aparentemente inmutables en el transcurso de una vida humana, nacen y mueren**. ¿Qué futuro le espera al universo? ¿Qué palabras anotaría ese escriba del cosmos en los próximos miles de millones de años? Lo cierto es que **tenemos solo algunas sospechas. Los diferentes finales dependen, directamente, de cuestiones de difícil respuesta**, dado que todavía no conocemos el universo en el grado necesario. Estamos, aún, en una misión de descubrimiento propio, pero hay varios escenarios que se plantean comúnmente.

El primero es la denominada muerte térmica del universo. Es el escenario más sencillo de imaginar. El cosmos está en constante expansión desde su nacimiento, y sabemos que esa expansión está acelerando. No hay ninguna señal de que se vaya a detener, por lo que podemos suponer que seguirá produciéndose infinitamente. En este escenario, sin embargo, hay algo que no es inagotable: el combustible de las estrellas.

Tarde o temprano, **dentro de billones de años, quedará poco hidrógeno para permitir el nacimiento de nuevas estrellas**. En una escala de tiempo que no podemos ni imaginar, llegará un día en el que no nacerán nuevas estrellas. Poco a poco, **el universo perderá la luz de sus astros y solo quedará un universo oscuro y frío**, incapaz de dar nacimiento a nuevos astros. No hay ningún objeto celeste que sea inmutable. Ni siquiera los agujeros negros. También, en una escala de billones de años, o quizá trillones, se evaporarán al no tener material que absorber. Eventualmente, **los agujeros negros radiarán su propia energía al cosmos**.

El segundo escenario es conocido como el «Big Rip». En él se plantea que la aceleración de **la expansión podría**, en algún momento muy lejano, dentro de billones de años, **provocar que las galaxias, estrellas e incluso átomos sean incapaces de permanecer unidos**. En cierto sentido, podríamos decir que **el universo se destruiría a sí mismo**. No obstante, para saber si este escenario es posible, hace falta profundizar en nuestro conocimiento de la energía oscura, esa fuerza invisible responsable de la aceleración de la expansión del universo.

El tercer escenario es popularmente conocido como el «Big Crunch», y plantea diferentes posibilidades muy interesantes. La premisa es sencilla. En algún momento futuro, **la expansión del universo se detendrá y este comenzará a colapsar sobre sí mismo**. Con el paso del tiempo, las distancias entre galaxias serán cada vez más y más pequeñas hasta que, **finalmente, el universo termine comprimido en un punto**. Algo muy similar al Big Bang. Aquí es donde los escenarios difieren. **En algunas hipótesis, se plantea que el universo quizá permanecería en ese estado. En otras, sin embargo, que esa fase sería el paso previo al desencadenamiento de un nuevo Big Bang**. Esta hipótesis resulta especialmente llamativa porque **plantea que nuestro universo podría atravesar una sucesión constante, quizá infinita, de sucesivos nacimientos y muertes**.

El cuarto escenario es popularmente conocido como el del «falso vacío». Es, probablemente, el más complejo de imaginar. Viene a ser el siguiente. **Cabe la posibilidad de que el universo exista en un estado de energía más elevado que su mínimo posible**. El vacío es, por tanto, el

universo existiendo en su estado de energía mínimo posible. Pero **puede que nuestro universo exista con más energía de la necesaria**, a esa posibilidad se la denomina «falso vacío». De modo que, **si de alguna manera, se produjese un cambio de energía y pasase al vacío real** (es decir, a la energía mínima para existir), **los cambios que se producirían serían muy profundos. El universo tal y como lo conocemos dejaría de existir.**

Aun así, hay que tener en cuenta que, **incluso si el universo existe con más energía del mínimo necesario, pasar a tener menos energía no es fácil.** Hay una especie de barrera que impide que la transición suceda con sencillez. **Incluso si este escenario pudiese ser una posibilidad real**, se estima que **no se produciría hasta transcurridos miles de millones de años**, por lo que no debe suponer una preocupación.

A grandes rasgos, **el modelo más aceptado es el de la muerte térmica del universo.** Puede ser triste pensar en que el universo, a su propia manera, pueda morir, pero al mismo tiempo **es un recordatorio de que todo está en constante cambio. Incluso el cosmos**, en la escala más grande, **evoluciona y crece.** Por otro lado, no hay que olvidar que todavía estamos comprendiendo el universo. **Hay muchos aspectos que aún ignoramos**, por lo que será necesario tener mucho más conocimiento para poder saber con exactitud cuál es el destino último del cosmos.

Suponiendo que este modelo fuese cierto, tenemos la fortuna de haber llegado en un momento en el que el cosmos es joven. Dentro de un billón de años, por ejemplo, será mucho más difícil para una civilización determinar si el universo tuvo un inicio y, por tanto, tendrá un final. La radiación de fondo de microondas no será visible porque la expansión del universo la habrá hecho indetectable.

Tenemos la fortuna y el privilegio de observar un firmamento repleto de estrellas jóvenes y viejas. Algunas más grandes y otras más pequeñas que el Sol. Podemos observar multitud de galaxias que se alejan de la nuestra y que, con el tiempo, habrán escapado a tanta distancia que su luz no volverá a alcanzarnos. En cierto modo, **hemos llegado en un buen momento para disfrutar del universo en todo su esplendor.**

Somos capaces de hacernos estas preguntas, y muchas otras, porque **hace miles de millones de años, en este pequeño rincón del universo observable, sucedió algo fascinante. Surgió la vida...**

CAPÍTULO IV

EL DESPERTAR DE UN ÁTOMO

¿Cómo apareció la vida en la Tierra? Detrás de esta pregunta, aparentemente simple, se encuentra una de las mayores incógnitas de la ciencia moderna. **Ni siquiera está completamente claro cuándo apareció la primera forma de vida.** Si nos remontamos a los orígenes del Sistema Solar, nos encontramos con una curiosidad. **Las rocas más viejas de la Tierra tienen una edad de unos 3.800 millones de años.** En las muestras de la Luna, recogidas por los astronautas de las misiones Apolo, encontramos que las edades de los fragmentos rondan entre los 4.100 y los 3.800 millones de años. No es una casualidad. **La superficie de la Luna,** con sus bellos mares y cráteres, no es solo una bonita visión en el firmamento nocturno de nuestro planeta. **También nos cuenta una historia que tuvo lugar poco después de la formación de este pequeño rincón de la Vía Láctea.**

Fue el Bombardeo Intenso Tardío. Un período en el que los planetas del interior del Sistema Solar (Mercurio, Venus, la Tierra y Marte) se vieron sometidos a una gran cantidad de impactos. **La mayor parte de los cráteres de la Luna proceden, como avanzábamos, de esta época.** Fue un momento muy violento.

Sin embargo, no todas sus consecuencias fueron negativas. **La Tierra,** tras su formación, **tenía una temperatura demasiado elevada como para poder conservar agua en su superficie.** Debería haberse evaporado. **No obstante, nuestro planeta tiene abundantes océanos. ¿Cómo se formaron?** ¿Cómo llegaron hasta aquí? Una de las hipótesis que se ha planteado es que fue en ese período, el del Bombardeo Intenso Tardío, cuando **muchos cometas, ricos en elementos volátiles como el agua, se precipitaron contra la superficie de nuestro mundo, trayendo consigo compuestos orgánicos y el líquido del que depende todo ser vivo de la Tierra.**

El Bombardeo Intenso Tardío pudo, por tanto, ser un factor importante para permitir la aparición de las primeras formas de vida sencillas, que habitaron en aquellos primitivos océanos durante millones de años. Puede, incluso, que algunas formas de vida surgiesen cuando el bombardeo todavía estaba en pleno proceso. Si no fue así, todo apunta a que tuvo que ser inmediatamente después de que este terminase. Dicho de otro modo, **la vida en la Tierra se abrió paso casi tan pronto como fue astronómicamente posible.** Las evidencias, en forma de cráteres en la Luna, apuntan a que ese período de bombardeo sucedió. Pero no hay huellas en nuestro planeta. Los terremotos y volcanes, a lo largo de millones de años, renuevan su superficie y eliminan los rastros más antiguos.

No tenemos ninguna evidencia, sin embargo, de cómo emergió la primera forma de vida. **No**

hay un lugar al que podamos acudir para comprender qué provocó que, de repente, un puñado de compuestos orgánicos comenzasen a reproducirse. Esto ha llevado a la realización de diferentes experimentos y a plantear diversas hipótesis. De todos ellos, quizá, el más conocido fuese el experimento de Miller-Urey. En él, los científicos **Stanley Miller y Harold Urey intentaron determinar cómo era posible que la materia inerte diese paso a materia viva.** Para descubrirlo, decidieron simular las condiciones que se cree que tuvo la Tierra poco después de su formación. Buscaban demostrar que el origen de la vida podía ser químico.

El razonamiento tiene sentido. **Si el origen de la vida es químico, entonces debería ser posible reunir todos los ingredientes y repetir el experimento en un laboratorio.** En ese experimento, Miller y Urey utilizaron amoníaco, hidrógeno, agua y metano. Los sellaron en un pequeño frasco, conectado a uno más grande lleno de agua hasta la mitad. El agua del frasco más pequeño se calentaba y se dejaba que el vapor se desplazase al más grande. Allí, dos electrodos creaban chispas de forma constante, simulando los rayos de la atmósfera. Después, aquella atmósfera artificial era enfriada, permitiendo que se depositase en la base del aparato. Al día siguiente, aquel líquido se había vuelto rosado.

Tras un tiempo, analizaron aquel líquido en busca de aminoácidos. Como quizá sepas, los aminoácidos son esenciales en la vida. **Inicialmente, creyeron haber encontrado cinco aminoácidos. De forma natural, en la vida se dan veinte aminoácidos.** Así que el resultado quizá no pareciese muy prometedor. Pero hay que tener en cuenta que fue llevado a cabo en 1952, con una tecnología menos avanzada que la que tenemos en la actualidad. **En 2008, con todos los avances transcurridos en esas décadas, se repitieron los análisis de las muestras del experimento original de Miller-Urey. No había cinco aminoácidos. Había más de veinte aminoácidos.**

Además, estudios posteriores revelaron que la composición de la atmósfera simulada en el experimento pudo ser ligeramente diferente a la composición que realmente tuvo nuestro planeta en aquella época y, por tanto, no fue una réplica exacta de las condiciones de la Tierra en aquel momento. Es decir, **cabe la posibilidad de que la vida en la Tierra surgiese a partir de la abiogénesis.** Química en acción. Un proceso que hace que, de alguna manera, un átomo despierte y comience la maravillosa aventura de la vida, que lleva casi 4.000 millones de años sobre la superficie de este planeta.

Pero la abiogénesis no es la única posibilidad. Una hipótesis muy popular, y muy extendida, es la de la panspermia, que se presenta en dos variantes. Por un lado, tenemos **la panspermia tradicional, por llamarla de alguna manera, que plantea que la vida llegó a la Tierra desde el espacio.** El razonamiento es que la vida microscópica existiría en todo el universo y que son los asteroides, cometas, meteoroides y planetoides (estos últimos serían la base de desarrollo de los planetas) los que la esparcen a lo largo y ancho de una galaxia. La otra posibilidad, que personalmente encuentro más interesante, es la de **la panspermia suave. La idea es la misma, pero, en lugar de organismos microscópicos, lo que se plantea es que lo que llegó desde el espacio fueron los bloques básicos de la vida (imprescindibles para que se formen los microorganismos).** Es decir, se forman en el espacio, y se incorporan a las nebulosas de las que, tarde o temprano, nacerán estrellas.

El proceso no es ni mucho menos descabellado. De hecho, en 1969 cayó, en Victoria (Australia), el meteorito Murchinson. A lo largo de los años ha sido analizado a fondo y se ha visto que está formado por setenta aminoácidos. Muchos de ellos están presentes en la vida. Por lo que es posible que la hipótesis de la panspermia tenga cierto crédito. A pesar de ello, es difícil determinar cuál es la respuesta correcta. Quizá no logremos acercarnos a ella hasta que encontremos vida en otros mundos.

Es más, **hay otra pregunta que cabe hacerse**, y que puede que no se te haya ocurrido. **¿Cuántas veces ha surgido la vida en la Tierra?** La suposición actual es que todos los seres vivos del planeta descienden de un antepasado común. Eso no quiere decir, sin embargo, que no hayan podido aparecer diferentes formas de vida primordiales. Es posible que el planeta tuviese las condiciones necesarias durante cientos de millones de años, o quizá más. Si realmente las hubo, es probable que, simplemente, sobreviviese la que estaba mejor adaptada a las condiciones de la Tierra.

Todo esto ilustra la dificultad para comprender cómo apareció la vida en nuestro planeta. No conocemos ningún otro planeta habitado. Aunque... ¿ha sido siempre así? **¿Es la Tierra el único planeta que, en la historia del Sistema Solar, ha tenido vida en su superficie?** Sabemos que en la actualidad sí, al menos en cuanto a vida compleja se refiere. No obstante, **en el pasado nos encontramos con que la respuesta no es tan clara como podríamos suponer. Venus y Marte no siempre fueron los mundos que conocemos en la actualidad.**

En el caso de Venus, el planeta más similar al nuestro (por tamaño y masa), **se sospecha que pudo tener agua líquida en su superficie.** Quizá durante dos mil millones de años, antes de que el planeta terminase cayendo en un potente efecto invernadero en el que aún hoy en día se encuentra inmerso. **Durante ese tiempo anterior, la vida pudo tener múltiples oportunidades para desarrollarse en Venus.** Es tiempo más que suficiente para que aparezca la vida simple, al menos si nos fijamos en la historia de la Tierra. **En nuestro planeta, las evidencias apuntan a que, con toda probabilidad, la vida apareció tan pronto como fue posible. Cabe suponer que, en el caso de Venus y Marte, lo mismo debió de suceder.**

En ese escenario, es difícil imaginar cómo podrían haber sido esas formas de vida. **Si las hubo alguna vez en la superficie del planeta, hace mucho tiempo que desaparecieron.** Es posible que se conserven fósiles bajo la tierra, pero la única forma de saberlo es enviar una nave hasta allí e investigarlo *in situ*. Pero **sus condiciones actuales convierten a Venus en un escenario poco atractivo para su exploración.** Es un infierno árido y seco, con temperaturas tan elevadas como para derretir el plomo. Y, aun así, puede que, de alguna manera, hayan sobrevivido organismos simples bajo la superficie, donde las condiciones podrían ser algo más benignas.

Otra posibilidad, que se ha planteado en los últimos tiempos, es que la densa atmósfera de Venus podría ser el hogar de organismos que vivan suspendidos en el aire. La inspiración de esa idea viene de la Tierra. En la atmósfera de nuestro planeta se ha llegado a detectar la presencia de microorganismos suspendidos a kilómetros de altura sobre la superficie. Así que el escenario no es ni mucho menos impensable.

En el caso de Marte, hay motivos para pensar que tuvo agua líquida en su superficie hace mucho tiempo. Desde el espacio se pueden observar las características habituales de un planeta que alguna vez debió de estar cubierto, al menos parcialmente, por un océano. También **tuvo ríos y regiones de agua**, como atestigua el cráter Gale, ubicado sobre el lecho de un antiguo lago. Así que, al menos en teoría, parece que **Marte pudo tener los requisitos necesarios** para permitir que la vida llegase a aparecer en su superficie.

Incluso **si no fuese así, cabe otra posibilidad** que *a priori* podría resultar exótica. **Algunos microorganismos podrían haber viajado desde la Tierra hasta allí** en el interior de fragmentos expulsados desde nuestro planeta cuando algún asteroide o cometa chocó contra él. Sin embargo, en las décadas de exploración de Marte, no se han encontrado señales de que haya habido vida en el pasado del planeta rojo. **No se han encontrado fósiles y no parece que Marte llegase a tener forma alguna de vida.**

Al mismo tiempo, es justo decir que nuestra exploración todavía está en una fase relativamente temprana. La mejor forma de encontrar restos de vida pasada no es con fotos desde el espacio, sino excavando la superficie y analizándola con detenimiento. Algo en lo que todavía estamos empezando a dar los primeros pasos con los *rovers* que se han enviado al planeta rojo y que tienen una capacidad muy limitada de perforar su superficie.

¿Qué tipo de vida pudo desarrollarse en Marte? Es una pregunta compleja. Se cree que el agua en Marte duró menos tiempo que en Venus. Hoy en día, el planeta rojo es un páramo árido y frío. Su atmósfera es mucho más tenue que la de la Tierra y ni siquiera tiene un campo magnético que lo proteja de los envites del viento solar y la radiación ultravioleta. **Las condiciones actuales no son, por tanto, apropiadas para que pueda haber sobrevivido algún tipo de vida simple en su superficie.** Bajo ella, la historia cambia. **Quizá esos primeros organismos que pudiesen desarrollarse allí lograron sobrevivir desplazándose al interior.**

¿Hay vida en Marte hoy en día? En la superficie no lo parece. Ciertamente, no vida compleja. Quizá haya algún tipo de microorganismo. Pero donde parece que hay mejores opciones para encontrar vida es, sin duda, bajo su tierra.

Encontrar vida en otros lugares no es una simple cuestión de curiosidad o conocimiento. Es algo que nos ayudará a comprender quiénes somos nosotros mismos. ¿Cuál es el mecanismo que permitió que estemos aquí, ahora, preguntándonos sobre nuestros orígenes? **La Tierra es un planeta fascinante por sí mismo, pero es un escenario muy limitado cuando tratamos de estudiar cuestiones en las que es necesario considerar otras variables.** Con más planetas en los que hubiese vida, sería mucho más sencillo determinar cuáles son las condiciones necesarias para que esta pueda aparecer. Por eso, tiene sentido buscarlo en el Sistema Solar.

Hay varios motivos. Principalmente, porque la exploración de los objetos que lo componen está al alcance de nuestra tecnología actual. Además, porque **encontrar dos objetos con vida en un mismo sistema estelar sería una indicación muy fuerte de que, con toda probabilidad, la vida debe de ser muy abundante a lo largo y ancho de la galaxia.**

Eso nos lleva a una posibilidad que viene considerándose con mucho interés en los últimos años. **¿Es necesario que un planeta esté en la zona habitable de su estrella y que tenga agua líquida en su superficie para permitir la aparición de la vida?** Si nos fijamos en la Tierra en su conjunto, parece que la respuesta es un sí claro y rotundo. Pero podemos considerar esta pregunta desde otra perspectiva. **¿Cuáles son los ingredientes universales de la Tierra para tener vida?** Podemos simplificarlos en tres: un elemento básico para la vida (agua), una fuente de energía (la luz del sol) y un entorno protector (la atmósfera del planeta, que impide que las formas más dañinas de radiación lleguen a la superficie y acaben con la vida que lo puebla).

¿Hay algún otro lugar del Sistema Solar que pueda reunir esos requisitos? La respuesta es que sí, y que no necesitan estar en la zona habitable. Concretamente, hay dos satélites que tienen posibilidades, a ojos de muchos científicos, de albergar vida. Y son mundos que no tienen nada que ver con la Tierra o Marte.

De ellos, **Encélado es el más prometedor.** Es un pequeño satélite de Saturno que tiene la superficie completamente congelada. No tiene ningún tipo de atmósfera y está demasiado lejos del Sol como para recibir la cantidad necesaria de energía en su superficie. Sin embargo, está lo suficientemente cerca de Saturno como para que la interacción gravitatoria con el gigante gaseoso retuerza y deforme el aspecto del satélite. Eso provoca que se libere energía y que, **bajo la capa de hielo que lo recubre, pueda haber un océano de agua líquida.**

Además, la sonda Cassini dejó volar nuestra imaginación en 2017 al detectar procesos hidrotermales. El agua caliente reacciona con la roca y se libera hidrógeno molecular. **Ese hidrógeno podría ser una fuente de energía para las posibles formas de vida de Encélado.** La capa de hielo que recubre el satélite actuaría como entorno protector frente a la radiación. Así que tendríamos todo lo necesario para permitir el desarrollo de formas de vida simples que pueblen el océano de Encélado. De hecho, **se ha planteado que las primeras formas de vida, en la Tierra, pudieron aparecer en las profundidades del océano, cerca de fuentes hidrotermales.**

Los microbios terrestres, que viven en ese entorno, tienen un proceso metabólico muy sencillo. Combinan el dióxido de carbono con hidrógeno y producen metano. Es un fenómeno que llamamos metanogénesis. En Encélado, la sonda Cassini detectó hidrógeno molecular y dióxido de carbono. Algo que apunta a que podría haber metanogénesis. No obstante, también se ha medido mucho más hidrógeno molecular del que hay presente en los océanos de la Tierra.

En nuestro planeta es mucho menos abundante. ¿Por qué? Pues porque es el alimento de esos microbios que viven cerca de fuentes hidrotermales. Por lo que **la abundancia de hidrógeno molecular en Encélado puede apuntar a que no hay ningún organismo vivo que se lo esté comiendo.** Aun así, apunta en una dirección que resulta muy interesante. Encélado parece tener las condiciones para ser habitable, al menos para ciertos tipos de organismos sencillos.

Europa, el satélite de Júpiter, **parece tener unas condiciones muy similares.** En su caso todavía no se han detectado procesos hidrotermales, pero guarda muchas similitudes con Encélado. No es ninguna locura suponer que podría ser un mundo que también tenga las

condiciones necesarias para permitir que aparezcan formas de vida en el océano interior que podría estar bajo la capa de hielo que lo recubre.

Aunque, llegados a este punto, podemos alejarnos un poco de lo que conocemos comúnmente. **Hay una particularidad de la Tierra que solo se da en otro lugar del Sistema Solar.** Me refiero al **ciclo del agua**, que seguramente conoces. El agua de los océanos de la Tierra se evapora, se condensa en nubes, se precipita en forma de lluvia y termina en ríos, lagos y acuíferos subterráneos que la llevan de vuelta al océano. Este mismo ciclo tiene lugar en el satélite más grande de Saturno: **Titán**.

La única diferencia es que **el elemento que cumple ese ciclo no es agua, sino metano**. Pero todo lo demás se repite rigurosamente. En Titán hay lluvias de metano, hay ríos y lagos. Sin embargo, es un lugar mucho más frío que la Tierra, con una temperatura media que ronda los -179 °C. Esto debería ser suficiente para hacernos pensar en la imposibilidad de la vida en este lugar tan remoto, pero hay varias consideraciones que vale la pena hacer.

Por un lado, **la atmósfera de Titán tiene nubes**. De hecho, posee una densa atmósfera que nos impide ver su superficie. **En ella hay nitrógeno, metano y compuestos orgánicos**, y aquí es donde nos encontramos con la gran incógnita. Los compuestos orgánicos se forman cuando la luz del Sol destruye metano. Como nuestra estrella lo hace de forma constante, en Titán **tiene que haber algo que reponga ese metano** al mismo ritmo; de otro modo, no lo veríamos en su atmósfera.

En nuestro planeta, el metano que se encuentra presente en la atmósfera **procede de las formas de vida que lo habitan**. ¿Puede el metano de Titán tener un origen biológico? La verdad sea dicha, **es posible que ese metano proceda**, simplemente, **de los océanos de metano que hay en su superficie** (y debajo de ella). Incluso si no fuese así, hay una cosa que podemos descartar con toda la certeza. **Sus posibles formas de vida, si las tuviese, no tienen nada que ver con lo que podemos encontrar en la Tierra**.

La vida en nuestro planeta depende del agua. Esta es más fuerte, pero también más reactiva. Es decir, es más fácil romper una molécula orgánica basada en agua que una basada en alguno de los hidrocarburos de Titán. En cierto modo, sería un punto beneficioso para la vida allí. Utilizarían oxígeno (en lugar de hidrógeno) y lo harían reaccionar con acetileno en lugar de glucosa. El resultado de esa interacción sería metano en lugar de dióxido de carbono.

De todas estas suposiciones, podríamos deducir que es posible observar los efectos que debería tener esa hipotética vida de Titán. Debería haber poco hidrógeno en su atmósfera y también poco acetileno. En 2010, se midió que hay mucho hidrógeno en las capas altas y poco en la superficie del satélite, donde, por cierto, se encontraron niveles bajos de acetileno. Todo ello podría apuntar a que fuese a consecuencia de seres vivos. Sin embargo, hay otras posibilidades menos exóticas, como la de que en realidad los datos no estuviesen correctamente medidos, o que haya algún mineral que actúe de catalizador entre el hidrógeno y el acetileno. Estas posibilidades impiden que se pueda determinar si hay algún tipo de vida en Titán.

Y esto nos lleva al mismo dilema que encontrábamos al principio del capítulo: la única forma de saber si hay vida en otros lugares del Sistema Solar es explorándolos. De momento, no hay ninguna misión planeada en el futuro cercano para visitar Titán y explorarlo de nuevo. En cualquier caso, la posibilidad de que pudiese haber vida diferente a la nuestra es extremadamente tentadora. Nos permitiría comprender que la vida puede abrirse camino de muchas maneras diferentes. Por ahora, no nos queda más remedio que fantasear con esa posibilidad.

Llegados a este punto, **hemos hablado de la posibilidad de que hubiese habido vida en el pasado** en lugares como Venus y Marte. También de la posibilidad de que pueda haber vida, en la actualidad, bajo la superficie de ambos planetas e, incluso, en satélites como Europa, Encélado o Titán. **Pero... ¿y en el futuro?**

Con el paso de miles de millones de años, el Sol irá evolucionando hacia el final de su vida. **Dentro de unos 4.500 millones de años se convertirá en una gigante roja.** Una estrella con un tamaño mucho mayor que el actual (quizá llegue a la órbita de la Tierra) que ha consumido casi todo el hidrógeno que acumuló durante su formación.

En ese escenario, **la zona habitable del Sistema Solar estará muy lejos de su lugar actual. No serán los planetas rocosos los que tendrán la posibilidad de ofrecer condiciones apropiadas para la vida... Serán los satélites de Júpiter y Saturno, e incluso lugares más alejados como Plutón.** En las últimas etapas del Sistema Solar, Titán podría tener, durante unos millones de años, las condiciones apropiadas para permitir que se desarrollen formas de vida basadas en agua.

El mismo escenario lo podemos aplicar a Encélado y Europa. **Quizá el momento de estos lejanos mundos no haya llegado todavía.** Es posible que su momento esté todavía en un futuro muy lejano. **Si es así,** debido a la evolución del Sol, **no habrá tiempo suficiente para permitir la aparición de seres inteligentes en su superficie.** Si nuestros descendientes lejanos todavía viven en esa época, sin embargo, tendrán la posibilidad de observar este pequeño vecindario de la Vía Láctea de una manera que, por ahora, no podemos llegar ni a imaginar. Más allá de la órbita de Neptuno hay multitud de planetas enanos y pequeños objetos congelados, ricos en elementos como el hielo de agua.

Con el Sol convertido en una gigante roja, la zona habitable llegará, durante un tiempo breve, a estar en la región de la órbita de lugares como Plutón. Durante solo unos millones de años (poco tiempo en la escala astronómica), este planeta enano, que nos parece irracionalmente lejano, podría tener las condiciones necesarias para permitir que la vida aparezca en su superficie.

Desde esa perspectiva, **podemos preguntarnos si la vida es exclusiva de la Tierra. Quizá en el pasado hubiese otros mundos habitados en el Sistema Solar. Quizá en el futuro, cuando la vida en este planeta no sea más que un recuerdo increíblemente lejano, sean otros mundos los que acojan en su superficie diferentes organismos.** Si es así, puede que haya sistemas que, en estos momentos, tengan vida en varios de sus mundos. Pero nuestra tecnología todavía es demasiado joven para permitirnos afrontar esa cuestión con propiedad. Todavía no. Cada vez

queda menos para conseguirlo, pero aún tenemos que ser pacientes.

Asimismo, para encontrar vida en el Sistema Solar, no nos queda más remedio que explorarlo y visitar aquellos lugares que creemos más prometedores. Algo que no debería resultar desalentador. **No podemos olvidar que somos, a fin de cuentas, una especie de exploradores.** A lo largo de los siglos, **el ser humano siempre se ha visto impulsado a llegar donde nadie había llegado antes.** A explorar nuevas fronteras que nunca antes habían sido visitadas. Otros continentes, la Antártida, la Luna...

El universo nos llama. Está en nuestras manos explorarlo y seguir el camino que emprendieron nuestros ancestros hace miles de años. Debemos hacerlo si queremos encontrar las respuestas a las preguntas que nos hemos planteado desde tiempos inmemoriales. ¿Somos los únicos seres inteligentes de la galaxia? ¿O, por el contrario, somos una voz más entre la multitud de especies y civilizaciones que pueblan el ancho y largo de la Vía Láctea...?

CAPÍTULO V

LA SOLEDAD DE UNA CIVILIZACIÓN INTELIGENTE

Es difícil comprender cuál es nuestro lugar dentro del gigantesco engranaje y delicado equilibrio del cosmos. ¿Somos una rareza? ¿Es la vida inteligente algo poco frecuente? ¿O por el contrario abunda y otras civilizaciones están esperando que descubramos su existencia para unirnos a la gran familia de civilizaciones interestelares? **Allá donde hemos mirado**, hasta ahora, **solo hemos encontrado motivos para la esperanza**. Mundos, lejos de nuestro Sol, que podrían tener las condiciones apropiadas para permitir el desarrollo de la vida. **Pero no hemos encontrado señales de esa vida**.

¿Qué conclusión debemos sacar de ello? Lo cierto es que nuestra presencia, en este pequeño rincón de una galaxia cualquiera, debería ser buena muestra de que la vida, como decía Jeff Goldblum en *Parque Jurásico* (1993), se abre camino. **Estamos formados por varios de los elementos más abundantes en el universo**: hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, carbono, fósforo y calcio. Los hemos encontrado en otros lugares del universo.

Son los elementos básicos que componen la vida, y están en todas partes. Así que parece lógico suponer que, en otros lugares del universo, **debería haber otras formas de vida**. Algunas serán, probablemente, inteligentes. **Parece imposible que en un cosmos de 200.000 millones de galaxias**, con cientos de miles de millones de estrellas por galaxia, **la nuestra sea la única que tenga un planeta habitado a su alrededor**.

Aun así, por desesperante que pueda parecer, **de momento no hemos encontrado nada que nos permita afirmar que hay vida en otros lugares del universo**. Lo podemos sospechar, podemos fantasear con esa posibilidad tanto como queramos, **pero no podemos afirmarlo**. Aunque parece extremadamente improbable, es posible que el nuestro sea, realmente, el único planeta habitado en todo el universo observable.

¿Cómo resolvemos esta aparente contradicción? ¿Cómo es posible que estemos compuestos por los elementos más comunes del universo y, sin embargo, no parezca haber más vida que la de nuestro mundo? Los científicos se han hecho esa misma pregunta a lo largo de las décadas, proponiendo diferentes soluciones.

Comencemos con el aspecto optimista. **La abundancia de esos elementos nos demuestra que el universo debería haber tenido múltiples oportunidades para que la vida emerja en muchos otros mundos**. No solo de otras galaxias, sino aquí mismo, en la Vía Láctea. Ahora bien, **¿cuántas civilizaciones podrían existir en este mismo momento en nuestra galaxia?**

Esa pregunta es a la que hizo frente el astrofísico americano Frank Drake en 1961. Escribió la conocida **ecuación de Drake**. Es un ejercicio de probabilidad que intenta dar la respuesta a esa pregunta. Pero, antes de entrar en ella, hay que tener claro que no intenta dar una respuesta definitiva. Para ello necesitaríamos conocer algunos valores que, a día de hoy, ni siquiera podemos comenzar a sospechar.

La ecuación de Drake dice que $N = R^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$. Que no te intimiden los factores. **La ecuación se lee así:** el número de civilizaciones de la Vía Láctea (N) es igual al ritmo medio de formación de estrellas (R^*), multiplicado por la cantidad de esas estrellas que tienen planetas (f_p), multiplicado por la cantidad de esos planetas que podrían tener las condiciones necesarias para permitir el desarrollo de la vida (n_e), multiplicado por la cantidad de esos planetas que, efectivamente, desarrollan vida en algún momento (f_l), multiplicado a su vez por la cantidad de planetas que, habiendo desarrollado vida, llegan a desarrollar vida inteligente (f_i), multiplicado por la cantidad de planetas en los que esas civilizaciones llegan a emitir señales detectables, de su presencia, al espacio (f_c) y multiplicado, finalmente, por la cantidad de tiempo durante el que se emiten esas señales al espacio (L). De todos estos, los primeros tres factores tienen valores que conocemos o podemos deducir.

En primer lugar, sin embargo, me gustaría repasar los cálculos originales de Frank Drake. Si no sabes qué representa cada factor, no dudes en volver a leer el párrafo anterior para revisarlo. Supuso que la galaxia forma una estrella por año, una cifra considerada conservadora, por lo que $R^* = 1$.

Del mismo modo, estimó que la cantidad de estrellas que tendrían planetas a su alrededor sería entre el 20 % y el 50 % de todas las estrellas de la Vía Láctea. Es decir, $f_p = 0,2$ a $0,5$. Y esas estrellas tendrían de 1 a 5 planetas que podrían tener las condiciones para desarrollar vida, $n_e = 1$ a 5 . El 100 % de esos planetas, según Frank Drake, desarrollarían vida, por lo que $f_l = 1$.

También supuso que el 100 % de esos planetas con vida desarrollarían, en algún momento, vida inteligente, así que $f_i = 1$. De esa vida inteligente, entre el 10 % y el 20 % serían capaces de emitir señales al espacio, por lo que $f_c = 0,1$ a $0,2$.

Y, por último, supuso que el tiempo de emisión de esas comunicaciones podría ir desde los 1.000 años a los 100 millones, por lo que $L = 1.000$ a $100.000.000$.

Si utilizamos los valores mínimos sugeridos por Frank Drake, obtendríamos que $N = 20$. Es decir, habría 20 civilizaciones en la Vía Láctea. Con los valores máximos posibles, obtenemos que $N = 50.000.000$. **Según cuenta Frank Drake, en la reunión que tuvo lugar en 1961, se concluyó que, aproximadamente, N era igual a L.**

Pero han pasado más de cincuenta años desde que Drake propuso su ecuación. En aquel momento, por ejemplo, no se sabía cuántas estrellas tenían planetas a su alrededor. **Hoy en día**

tenemos conocimiento nuevo. Así, sabemos que el ritmo de formación de estrellas en la Vía Láctea es más alto, entre 1,5 y 3 estrellas nuevas por año.

Además, sabemos que casi todas las estrellas de la galaxia tienen al menos un planeta a su alrededor. Asimismo, gracias a estimaciones recientes, como las del telescopio Kepler, se calcula que podría haber 11.000 millones de planetas, con un tamaño similar al de la Tierra, en la zona habitable de estrellas similares al Sol.

Así que **podemos concretar los valores, con bastante confianza, de R^* , f_p y n_e .** No obstante, **nos quedan cuatro factores en los que solo podemos hacer conjeturas.** Como solo conocemos el caso de la Tierra, no sabemos cuántos de esos planetas desarrollan vida en algún momento. Aunque sí que podemos sospechar que podría ser una cifra alta, porque la vida en nuestro planeta apareció casi tan pronto como fue posible. Determinar cuántos planetas podrían tener vida inteligente es igualmente complicado. Si nos fijamos en la Tierra, podríamos suponer que es inevitable y que solo es una cuestión de tiempo. Es decir, si la evolución sigue su curso, tarde o temprano aparecerá la inteligencia.

Pero también lo podemos ver desde otra perspectiva. Entre los millones de especies de este planeta, solo una es inteligente (en este caso, se asocia inteligencia con el desarrollo de tecnología). Lo mismo nos sucede con la posibilidad de que esa inteligencia envíe señales al espacio. Si bien es cierto que no es necesario que esas señales se envíen de manera deliberada. De manera deliberada, nuestra especie solo ha enviado un puñado de mensajes. Mientras que si consideramos que nuestra tecnología produce señales que podrían ser fácilmente detectables por otras civilizaciones (siempre que estuviesen lo suficientemente cerca), entonces podemos cambiar la perspectiva y decir que llevamos décadas transmitiendo.

El último factor, el tiempo durante el que una civilización emite sus señales al espacio, es otro tema muy complicado. Podríamos suponer que una civilización vive solo unos siglos, o quizá unos pocos milenios. O, por el contrario, que una vez llegado a cierto punto, podemos considerar que una civilización es, a todos los efectos, inmortal. Por lo que sus señales se seguirán emitiendo al espacio de manera indefinida.

En cualquier caso, esto nos permite obtener cifras muy dispares. **Si utilizamos cálculos muy conservadores, podemos llegar a obtener que $N = 1$.** Pero indicando no solo que podríamos ser la única civilización en toda la galaxia, sino en el universo observable. Sin embargo, si usamos cifras más optimistas, podemos obtener que, solo en la Vía Láctea, **podría haber decenas de millones de civilizaciones.**

No hay que ver esta disparidad de valores como un problema. Es una flaqueza de la ecuación de Drake, ciertamente, pero es que el objetivo de esta no es intentar determinar matemáticamente cuántas civilizaciones podría haber. Al menos no todavía. Porque para eso nos falta demasiada información que todavía estamos recopilando. Las cosas cambiarán, notablemente, en el momento en que detectemos otros planetas que estén habitados..., si es que los hay.

Porque, **si nos fijamos en la ecuación y en sus valores más optimistas,** hay una pregunta que

nos viene inmediatamente a la cabeza. **¿Dónde está todo el mundo?** Generalmente, **cuando hablamos de la ecuación de Drake, también hablamos de la paradoja de Fermi.** Son un conjunto que va de la mano. No en vano, la abundancia de elementos del universo, así como los valores que podríamos obtener en esa ecuación, incluso utilizando cifras conservadoras, nos pueden llevar a pensar que la galaxia debería rebosar vida. Pero **no hay rastro de civilizaciones inteligentes. No las vemos en ningún lugar.**

La paradoja de Fermi recibe su nombre de Enrico Fermi, un físico italiano, nacionalizado estadounidense, **que se preguntó por qué no habíamos encontrado señales de vida extraterrestre.** A fin de cuentas, parece razonable pensar que, en el conjunto de la galaxia, **debió de haber civilizaciones que aparecieran antes que la nuestra.**

Incluso si se hubiesen desarrollado muy lentamente, recorrer toda la galaxia les habría llevado solo unos pocos millones de años. Apenas un suspiro en la historia del cosmos. Sin embargo, no hay ninguna evidencia que demuestre que la Tierra haya recibido visitas de criaturas extraterrestres en algún momento de su pasado. **¿Cómo resolvemos esta aparente contradicción entre la aparente abundancia de vida en la galaxia y el hecho de que, hasta donde hemos podido ver, parece que estamos solos?**

En este caso, Fermi (hay que decir que, en realidad, la paradoja no la planteó él, aunque sí que reflexionó sobre el tema) creía que **quizá hubiese algún impedimento.** Algo a lo que conocemos como **el Gran Filtro.** En algún punto de toda esa cadena que imaginaba Frank Drake, **puede que haya un paso que sea extremadamente complicado o poco probable.** ¿Cuál de ellos? Es difícil saberlo. Quizá, a pesar de la cantidad de planetas similares a la Tierra que debería haber en la galaxia, la aparición de la vida en sí misma es algo poco común y extraordinario. En ese caso, el Gran Filtro podría ser la propia aparición de la vida.

Pero no es un simple ejercicio de imaginación. Saber dónde se encuentra el Gran Filtro también nos permite comprender cómo puede ser nuestro futuro. Si, por ejemplo, este fuera la aparición de la vida, entonces está en nuestro pasado y ya lo hemos superado. Quizá no sea la aparición de la vida en sí misma, que en la Tierra surgió tan pronto como fue posible, sino el desarrollo de la vida compleja.

Los organismos complejos tardaron unos 3.500 millones de años en aparecer en nuestro planeta. Así que quizá ese sea el Gran Filtro. O quizá lo sea el hecho de que una especie desarrolle inteligencia. En todos esos casos, estaríamos ante un escenario en el que podría haber muy pocos planetas que hayan llegado a superar el Gran Filtro, o muy pocas especies que hayan logrado desarrollar la tecnología como para poder comunicarse. Aunque suena egoísta, cualquiera de estos escenarios, si es que fuesen ciertos, serían buenas noticias para el ser humano, porque nuestro mayor riesgo estaría en nuestro pasado.

Pero... ¿y si no es así? **¿Y si nos estamos equivocando y, en realidad, el Gran Filtro está en nuestro futuro?** Quizá la aparición de civilizaciones con un nivel de desarrollo similar al nuestro sea muy común. **A lo mejor el Gran Filtro es evitar la propia extinción.** De eso, la verdad es que nosotros sabemos lo nuestro. La Guerra Fría pudo haber desencadenado un conflicto nuclear que,

de haber llegado a suceder, podría haber tenido consecuencias nefastas para nuestra especie, hasta el punto de llegar a extinguirnos; ahora nos enfrentamos a la amenaza del cambio climático, o posibles guerras futuras...

O quizá, simplemente, desarrollar la tecnología necesaria para convertirse en una civilización interplanetaria, capaz de colonizar otros lugares de su Sistema Solar, sea un proceso tan largo que algún fenómeno natural, como el impacto de un gran asteroide, termina extinguiendo a esa posible civilización antes de que llegue a poner sus pies en otros planetas. **En estos casos, todavía estaríamos en peligro de no haber atravesado el Gran Filtro.** Dónde lo pongamos, en cada punto, nos lleva a considerar escenarios diferentes. Desde que la vida, quizá, sea demasiado rara, hasta el punto de que en realidad lo difícil es sobrevivir el tiempo suficiente como para poder dar el salto a otros planetas y, posteriormente, a otras estrellas.

En cualquier caso, **es posible que en realidad no haya una paradoja.** Puede que, simplemente, nuestra tecnología no esté todavía lo suficientemente desarrollada como para poder detectar las señales de otras civilizaciones. O quizá la vida es relativamente abundante, pero el viaje interestelar es complejo y caro, por lo que pocas civilizaciones exploran otros lugares. De tal modo que, **aunque nos encontráramos, podríamos estar limitados a comunicarnos por mensaje con civilizaciones demasiado lejos de nuestra estrella.**

Incluso cabe la posibilidad de que, simplemente, no hayamos sido capaces de reconocer las señales de vida extraterrestre. En cualquier caso, todas estas consideraciones nos ayudan a intentar entender cuál es nuestro papel en el universo.

Además, hay otra cosa que necesitamos preguntarnos. **¿Qué deberíamos buscar exactamente?** Si nos fijamos en la historia de la Vía Láctea, en el hecho de que existe desde hace miles de millones de años, parece razonable suponer que **debería haber civilizaciones tanto más primitivas que la nuestra como mucho más avanzadas.**

¿Cuánto más avanzadas? **El astrofísico ruso Nikolai Kardashov planteó un sistema de clasificación** en 1964, que nos permitiría definir diferentes tipos de civilización en función de su nivel de desarrollo y la cantidad de energía capaz de utilizar. Así, una civilización de **Tipo I** sería capaz de utilizar toda la energía que llega a la superficie de un planeta, procedente de su estrella. En el **Tipo II** encontramos una civilización que sería capaz de utilizar toda la energía emitida por su estrella. Finalmente, en el **Tipo III** encontramos civilizaciones capaces de utilizar toda la energía de toda su galaxia.

Este sistema de clasificación ha resultado ser tan popular que se han planteado modelos alternativos en los que se añaden más niveles. Así, tendríamos el tipo 0, en el que estarían las civilizaciones que no llegan al Tipo I, junto al Tipo IV, que haría referencia a civilizaciones capaces de utilizar la energía de todo el universo, así como el Tipo V, que trataría sobre civilizaciones capaces de utilizar la energía de varios universos.

Estos niveles adicionales, sin embargo, rara vez son mencionados, a excepción del tipo 0, ya que no forman parte de la escala original de Kardashov. A modo de curiosidad, vale la pena

destacar que **Carl Sagan estimó que la humanidad sería una civilización de tipo 0,7**. Al igual que con la ecuación de Drake, **esta escala no pretende dar una respuesta definitiva**, pero sí que nos permite hacer algunas observaciones que resultan interesantes. **¿Podríamos detectar una civilización de Tipo II?** Freeman Dyson, un físico y matemático británico, nacionalizado estadounidense, planteó en 1960 la idea de **la esfera de Dyson**.

Se trataría de **una gigantesca esfera que recubriría la estrella del sistema natal de una civilización** y cuyo cometido sería, precisamente, recoger toda la energía emitida por la estrella. Una construcción de estas características debería ser detectable con nuestra tecnología actual. No obstante, a pesar de que se han realizado algunos intentos para dar con la existencia de alguna, no se ha observado nada que pueda encajar.

Como observación estrictamente personal, debo confesar que la escala de Kardashov no me parece la más atractiva. A fin de cuentas, hay algunas consideraciones que deberíamos hacer sobre la propia vida inteligente. Por un lado, nuestro consumo energético, el de la humanidad, es más eficiente ahora que hace unas décadas.

Por otro lado, supongamos que hay otras civilizaciones en la galaxia y que, quizá, no todas sean pacíficas. Parece poco probable, si esta suposición fuese cierta, que pueda haber civilización alguna interesada en lanzarse a la construcción de una esfera de Dyson. Sería una buena forma de hacer saber a esas posibles civilizaciones hostiles de su existencia, exponiéndose a la posibilidad de ser atacados. Por lo que, antes de necesitar, o poder, almacenar toda la energía de su estrella, una civilización más avanzada que la nuestra podría preferir expandir su presencia a varias estrellas, haciendo que su presencia sea más difícil de detectar.

Planteo este escenario porque, de hecho, **hay clasificaciones alternativas a la de Kardashov que buscan otros baremos para medir el desarrollo de una civilización**. Así, el propio Carl Sagan, sin ir más lejos, consideraba que quizá no hubiese que fijarse solo en la energía que podía manejar una civilización, sino también en la cantidad de información de la que disponía. Para ello, definió niveles siguiendo el abecedario, comenzando con la A, que equivale a 10^6 bits de información. Es menos de lo que ha producido cualquier cultura humana. Cada letra, a partir de ahí, suma una cifra más a la potencia. Así, la B es 10^7 bits de información, la C es 10^8 y así hasta la Z, que equivale a 10^{31} bits de información. En esta clasificación, el científico estimó en 1973 que la humanidad, en aquel momento, sería una civilización de tipo 0,7 H, con 10^{13} bits de información disponible.

Robert Zubrin, un ingeniero aeroespacial americano, propone otro sistema alternativo. En su lugar, define las civilizaciones en función de su extensión por el espacio. De tal manera que una civilización de Tipo I se ha extendido por su planeta. Una de Tipo II tiene colonias en su sistema estelar y, finalmente, una de Tipo III ha colonizado toda su galaxia.

Otro sistema, bastante llamativo, es el propuesto por el físico teórico británico John D. Barrow. En su lugar, clasifica las civilizaciones en función de su capacidad para manipular cosas cada vez más pequeñas, siguiendo nuestro propio desarrollo. Así, una civilización de Tipo I-menos podría

manipular solo objetos en su propia escala. Es decir, cosas como construir edificios. Una de Tipo II-menos podría manipular genes y realizar tareas como trasplantes. Una de Tipo III-menos podría manipular moléculas y sus enlaces, creando materiales nuevos. Así, seguimos bajando hasta el Tipo VI-menos, que definiría a una civilización capaz de manipular las partículas más elementales del universo (como los quarks) y el tipo Omega-menos, que hace referencia a una civilización capaz de manipular la estructura del espacio-tiempo.

En muchos casos, por no decir en todos, la clasificación puede que no tenga sentido. **Es posible que, simplemente, no seamos capaces de imaginar una civilización más avanzada que la nuestra.**

Todas estas consideraciones son interesantes para poder entender si pudiera haber vida en otros lugares de la galaxia, o del universo, y qué podríamos esperar encontrar. Sin embargo, nos obligan a hacer consideraciones y estimaciones para las que no hay ninguna base que podamos considerar realmente fiable. Eso solo cambiará a medida que vayamos descubriendo planetas habitados, si es que los hay.

En este último punto en particular, es donde **las enanas rojas cobran especial importancia**. Por su extrema longevidad y abundancia, **pueden ser un factor clave para definir si la vida es muy abundante en el universo** o, por el contrario, muy rara. No en vano, hay que recordar que **alrededor del 75 % de las estrellas de la Vía Láctea son enanas rojas.**

Comprender si las enanas rojas pueden tener planetas habitables, por tanto, podría permitirnos tener una estimación mucho mejor de lo abundante que es la vida en el cosmos. A bote pronto, podría parecer que estas estrellas no reúnen las condiciones necesarias. **Al ser mucho más tenues que el Sol, sus planetas se encuentran mucho más cerca de la estrella. Esto provoca que se produzca acoplamiento de marea.** Es decir, el planeta tarda tanto tiempo en girar sobre sí mismo como en dar una vuelta alrededor de su estrella. El fenómeno quizá te resulte familiar porque es el que **sucede con la Luna y la Tierra**. Siempre vemos la misma cara de esta por ese mismo motivo. Con nuestro satélite, eso se queda en una anécdota. No tiene ninguna consecuencia particular para la Tierra.

Pero **en el caso de un planeta**, no obstante, **puede ser la clave entre que sea habitable o no**. Porque, al estar en acoplamiento de marea, quiere decir que tenemos un hemisferio iluminado permanentemente, con una temperatura de hasta cientos de grados, y otro hemisferio en la más absoluta oscuridad, con una temperatura de cientos de grados bajo cero. Esto debería ser suficiente para eliminar la posibilidad de que los planetas en torno a enanas rojas sean habitables. De todas formas, en los últimos años se han publicado diferentes estudios que analizan este tema a fondo. Todo depende de factores como lo activa que sea la estrella, el tamaño del planeta, y el hecho de si ha llegado a retener una atmósfera o no.

Muchas enanas rojas son estrellas tremendamente activas. Emiten potentes llamaradas estelares que tienen consecuencias nefastas para sus planetas. Al estar tan cerca, reciben un asalto de energía muy superior a la Tierra del Sol. Por lo que es posible que esos planetas, aunque estuviesen en la zona habitable de la enana roja, no fuesen capaces de mantener su atmósfera. Sin

atmósfera, podemos olvidarnos del resto de requisitos necesarios para la vida.

Este panorama se cree que podría ser bastante frecuente en torno a muchas enanas rojas. Esto incluye, también, a Próxima Centauri. Pero ¿y si el planeta es capaz de mantener una atmósfera? Las cosas podrían cambiar, y mucho, aunque no necesariamente para bien. Entre el lado iluminado, con una temperatura de cientos de grados sobre cero, y el lado en oscuridad, con cientos de grados bajo cero, hay una pequeña franja que podría tener la temperatura apropiada. Se trataría de la región en permanente crepúsculo, donde los rayos de la estrella llegan solo en la proporción necesaria para mantener una temperatura similar a la que tenemos en nuestro planeta.

En este caso, sin embargo, cabe la posibilidad de que esa región sea un lugar de colisión entre las masas de aire de ambos lados. En cuyo caso estaríamos ante una franja con unas tempestades terribles y unas condiciones muy duras, de tal manera que podría ser imposible que se desarrolle vida alguna. Por otro lado, si se dan ciertos requisitos, esa misma atmósfera podría provocar que el planeta fuese habitable en su totalidad. En cierto modo, sería como si tuviese un gigantesco sistema de aire acondicionado. La atmósfera llevaría el aire muy caliente al hemisferio nocturno, trayendo de allí aire muy frío al hemisferio diurno. En ese caso, esa temperatura, en la que podría haber agua líquida y condiciones favorables para el desarrollo de la vida, podría tener lugar en todo el planeta. Resulta un panorama francamente interesante.

Además, **no todas las estrellas son extremadamente violentas**. Aunque sí es el caso de Próxima Centauri y, parece, también de TRAPPIST-1. Otras estrellas, como Ross 128, son enanas rojas que muestran un entorno mucho más tranquilo, con solo llamaradas estelares ocasionales y que, por tanto, no suponen un peligro para sus planetas ni para la vida que pudiese llegar a desarrollarse en su superficie. Es decir, **todavía es pronto para comprender exactamente si los planetas alrededor de enanas rojas son realmente habitables**. Es uno de los campos de estudio de la astrobiología en los próximos años, porque las respuestas que nos dé nos llevarán a comprender mejor cuál es la abundancia de la vida.

Podemos, incluso, llevar la pregunta aún más allá. Si las enanas rojas resultan tener objetivos habitables en, al menos, algunas circunstancias, puede que a nosotros mismos nos interese esa posibilidad. De momento, el Sistema Solar es nuestro hogar. Seguirá siéndolo durante al menos 1.500 millones de años más. Es el tiempo durante el que la Tierra será habitable. Después, podremos desplazarnos a otros lugares del Sistema Solar. Pero, **cuando finalmente el Sol muera, habrá que buscar un nuevo hogar**. Si las enanas rojas resultan tener sistemas habitables, **nuestro próximo hogar bien podría ser una pequeña estrella en la que nuestra especie pueda vivir**, potencialmente, **durante billones de años**. Aunque es un escenario extremadamente lejano y difícil de imaginar.

Pensando en términos más prácticos, la habitabilidad de las enanas rojas es interesante también por los escenarios que plantea para el desarrollo de la vida. Tomemos el ejemplo de TRAPPIST-1, que tiene siete planetas a su alrededor. Tres de ellos, además, podrían ser habitables. Supondremos que, para este caso, la estrella ofrece las condiciones necesarias para que sus mundos sean habitables (algo que no parece ser cierto, pero lo obviaremos por ahora). Si es así, es posible que la vida exista no en un solo planeta, sino en varios. Su origen podría ser, sin

embargo, la vida de un único planeta, que habría ido pasando de uno a otro, quizá en forma de organismo unicelular, con los impactos de cometas y asteroides que hayan tenido lugar a lo largo de miles de millones de años.

Además, ¿cómo serían las civilizaciones si llegasen a desarrollarse en varios planetas? ¿Cómo se relacionarían entre sí? Es una pregunta en la que resulta interesante pensar, y que también nos lleva a otro punto que no podemos pasar por alto. **¿Qué hay de nosotros? ¿Hay posibilidad de que los mensajes que hayamos enviado lleguen algún día a otras civilizaciones? ¿O debemos resignarnos?**

CAPÍTULO VI

¿QUIÉN ESCUCHA A LA TIERRA?

Una de las grandes preguntas de nuestra especie es si estamos solos en el universo. **¿Hay vida en otros lugares de la galaxia?** Es en las últimas décadas cuando se han visto los esfuerzos más intensos para encontrar señales de vida inteligente en otros lugares. Sin embargo, **esta rama de la astronomía siempre ha sido un tanto delicada, porque es un terreno particularmente fértil para las conspiraciones y teorías pseudocientíficas. No son pocos los que, a lo largo de los años, han realizado afirmaciones completamente descabelladas.** Cosas como que las pirámides fueron construidas por una civilización extraterrestre inteligente que visitó nuestro planeta hace más de 4.000 años. O que convivimos con especies extraterrestres en nuestro día a día. Hay multitud de ejemplos que podemos utilizar.

Aunque, en este punto, **es necesario aclarar que no digo que sean descabelladas de manera gratuita.** Seguramente, **no hay nadie a quien le haga más ilusión que a mí descubrir que hay vida inteligente** en otros lugares del universo. Pero, a pesar de lo tentadora que es esta idea, debemos adherirnos a lo que nos ha enseñado el método científico. **Para poder hacer afirmaciones extraordinarias, es necesario disponer de evidencias extraordinarias.**

En este terreno, por desgracia, es frecuente encontrarse con personas que no tienen en cuenta el método científico. Consideran, por ejemplo, que no es posible que las pirámides fueran construidas por nuestros ancestros, ignorando que, **aunque la tecnología de nuestros antepasados era limitada, estos no eran tontos.** Al contrario, a lo largo de nuestra historia encontramos demostraciones constantes del ingenio humano. **La construcción de las pirámides no necesita ninguna intervención extraterrestre.** Es fácilmente explicable con métodos convencionales y técnicas que se utilizaban en aquella época. Así ha sido documentado en los estudios de la región de Giza y en escritos que han perdurado hasta nuestros días, donde se explican las técnicas que utilizaban para enfrentarse a esas construcciones.

Además, **persigamos esta pregunta con valentía. ¿Podría una civilización extraterrestre inteligente determinar que había vida inteligente y relativamente avanzada en nuestro planeta hace 4.000 años?** Resulta tentador pensar que sí, pero debemos recordar el funcionamiento del cosmos. **Cuanto más lejos miramos en la distancia, más lejos nos adentramos en el pasado.** La estrella más cercana, Próxima Centauri, parte del sistema triple de Alfa Centauri, está a 4,24 años-luz. La probabilidad de que una civilización extraterrestre inteligente estuviese a una distancia pequeña, digamos, menos de 50 años-luz, es muy baja. ¿Por qué? De ser así, la galaxia, siguiendo lo que nos mostraba la ecuación de Drake en el capítulo anterior, rebosaría de civilizaciones.

Si hubiese una civilización inteligente a 100 años-luz, esta vería nuestro planeta tal y como era hace 100 años, y así sucesivamente. Una civilización a 1.500 años-luz, una distancia pequeña dentro de los más de 100.000 años-luz de extensión de la Vía Láctea, vería nuestro planeta tal y como era 1.500 años antes. **Esto nos lleva a caer, rápidamente, en la cuenta de que no habría ninguna manera evidente de identificar la vida inteligente de nuestro planeta.** Quizá, en el mejor de los casos, podrían concluir que hay vida compleja en la Tierra, pero poco más. Incluso en la actualidad, las señales de la contaminación de nuestra atmósfera con compuestos que no se dan en la naturaleza, solo serían visibles a poco más de 200 años-luz si comenzamos a medir desde la Revolución industrial. **Entre los 200.000 millones de estrellas, es poco probable que la nuestra fuese escogida al azar por una civilización para visitarla en busca de posible vida inteligente que no hubiesen identificado.**

Podría seguir con estas consideraciones, pero, en el fondo, lo que nos muestran es que **no podemos esperar que las criaturas inteligentes extraterrestres, si las hay, vengan a visitarnos.** En su lugar, **parece mucho más atractivo intentar detectar señales de su presencia.**

Es aquí donde nos encontramos con SETI (*Search for ExtraTerrestrial Intelligence* [Búsqueda de vida inteligente extraterrestre]), que engloba diferentes proyectos e iniciativas en esa misma dirección. La más conocida, probablemente, es el Instituto SETI, que ha liderado algunas de esas acciones en los últimos años. **Su esperanza es detectar señales de transmisiones de civilizaciones inteligentes extraterrestres.** Quizá un mensaje de auxilio de una nave perdida en el espacio interestelar. O un mensaje enviado hacia las estrellas por parte de alguna civilización que, como nosotros, busca comprender si están solos en la galaxia. **Es más probable que seamos capaces de escuchar las señales de vida inteligente, si la hay, que verlos aterrizando con sus naves en nuestro planeta.**

Siguiendo ese razonamiento, cabe suponer que podría haber civilizaciones que, como nosotros, estén observando el espacio en busca de posibles señales de vida inteligente procedente de otros lugares. ¿Quién escucha a la Tierra? **¿Podría haber civilizaciones extraterrestres que capten nuestros mensajes?** Aunque no hemos encontrado señales de vida en otros lugares, y mucho menos de vida inteligente extraterrestre, es justo hablar del mensaje de Arecibo para ponerlo en contexto.

El mensaje de Arecibo fue un mensaje interestelar enviado el 16 de noviembre de 1974 desde el radiotelescopio ubicado en Arecibo (Puerto Rico). **Consistía en una secuencia de ondas de radio con modulación diferente, a modo de 1 y 0, que transmitía información sobre nosotros y nuestro planeta.** El contenido del mensaje, y su concepción, corresponde a Frank Drake, Carl Sagan y otros científicos de la época.

En él se incluyen conceptos como los números del 1 al 10, el número atómico del hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno y fósforo (que componen el ADN), la fórmula de varios azúcares y bases de los componentes del ADN, la cantidad de nucleótidos del ADN y una muestra gráfica de la estructura helicoidal de una cadena de ADN, así como la representación de un ser humano, su tamaño medio y la población del planeta en aquel año. Todo esto, acompañado por una pequeña

descripción gráfica de los planetas del Sistema Solar y del propio radiotelescopio de Arecibo. **El destino de su mensaje fue** Messier 13, más popularmente conocido como **el cúmulo de Hércules**. Se trata de un cúmulo globular, formado por una enorme agrupación de viejas estrellas que ocupan un espacio muy pequeño. Contiene unas 300.000 estrellas en poco más de 22.000 años-luz. **Llegará a su destino en 25.000 años**. Pero ¿por qué a este cúmulo en particular?

Lo cierto es que, en realidad, **el mensaje de Arecibo tuvo mucho más de demostración técnica que de intento real de contactar con extraterrestres**. Se quería resaltar los avances de la tecnología y las mejoras instaladas en el radiotelescopio. El mensaje, dentro de 25.000 años, ni siquiera llegará al centro del cúmulo de Hércules, aunque sí que llegará relativamente cerca de la región central. Es posible que, en ese futuro lejano, pudiese haber una civilización inteligente extraterrestre en alguno de los mundos en torno a las estrellas del cúmulo. Aunque nuestro conocimiento actual nos hace pensar que las condiciones en el interior de los cúmulos globulares podrían no ser las adecuadas para permitir el desarrollo de la vida.

Incluso si, de algún modo, fuese interceptado por una civilización inteligente, no sabemos si esta lo llegaría a identificar como un mensaje. Quizá tenga grandes dificultades para descifrarlo, ya que la información, en cada segmento del mensaje, está codificado con diferentes orientaciones. **Han pasado poco más de 40 años desde la retransmisión del mensaje**. Por lo tanto, su señal **solo ha alcanzado las estrellas en esa distancia**. Algo que nos debería hacer sospechar que es muy poco probable que recibamos una respuesta. Porque, si nos llegase mañana mismo, querría decir que fue transmitida hace veinte años (suponiendo que fuese detectada en 1998 y la respuesta se enviase de manera inmediata). **Esto, sin embargo, no ha impedido que hayan aparecido supuestas respuestas al mensaje de Arecibo**.

La más popular es la conocida como el mensaje de Chilbolton. Se trata de un campo en el que apareció un mensaje que era muy similar al de Arecibo, pero con pequeñas diferencias. En lugar del ser humano, por ejemplo, se veía la figura de un alienígena con una cabeza grande. **Aunque hubo quien intentó pasarlo como una respuesta real de una civilización extraterrestre, lo cierto es que basta un mero análisis superficial para darse cuenta de que es imposible que fuese así**.

Por un lado, apareció en un campo de cultivo, en pleno auge de los círculos en las cosechas. Un fenómeno por el que de repente, y siempre de un día para otro, aparecía un mensaje en un campo de cultivo. Por otro, la representación del alienígena era sospechosamente familiar. Una figura humanoide con una cabeza exageradamente grande. La misma representación a la que tan acostumbrados estuvimos, hasta principios del siglo xxi, en las series y películas de las últimas décadas.

No sabemos qué aspecto podría tener la vida extraterrestre inteligente, pero parece muy poco probable que tuviese, precisamente, el aspecto que imaginábamos popularmente en el entretenimiento de finales del siglo pasado. A eso hay que sumarle que los círculos en las cosechas no tienen ningún origen especial. Se pueden crear a lo largo de una noche con la ayuda de las herramientas adecuadas, aplastando la hierba, o el cultivo de turno, en los lugares apropiados para dar pie a la aparición del mensaje que se desee mostrar.

Pero **¿quiere decir esto que nunca hemos recibido un mensaje alienígena extraterrestre?** Podemos descartar cosas como el mensaje de Chibolton o la supuesta presencia de alienígenas hace 6.000 años. En ninguno de esos casos hay evidencias extraordinarias que sustenten las afirmaciones extraordinarias. **Lo que sí tenemos, sin embargo, es una evidencia extraordinaria para la que no podemos realizar una afirmación extraordinaria.** Se trata de algo que conocemos como **la señal Wow!**

Sucedió en 1977, cuando el radiotelescopio Big Ear, en la universidad del estado de Ohio en Estados Unidos, captó una intensa señal de radio de banda estrecha. El radiotelescopio fue uno de los utilizados en la búsqueda de posibles señales de vida extraterrestre. El astrónomo Jerry Ehman descubrió, poco después del 15 de agosto, al revisar los datos manualmente, la presencia de la intensa señal en los datos. Le sorprendió tanto que rodeó las cifras con un círculo rojo y escribió «Wow!» justo al lado, provocando que se convirtiese en el nombre por el que hoy la conocemos.

Esa secuencia recibida duró 72 segundos. En ellos, la potencia de la señal de radio fue mucho más elevada de lo que era habitual en el ruido de fondo del espacio. **¿Qué lo provocó? Lo cierto es que no lo sabemos.** Big Ear estaba equipado con dos receptores. Solo uno de ellos captó la transmisión. El segundo, que apuntó a esa misma región del cielo tan solo unos instantes después, siguiendo la rotación de la Tierra, no detectó nada.

Todo esto se vuelve aún más interesante al tener en cuenta que la señal cumple con los requisitos de una emisión continua. A medida que la fuente de emisión se acercaba al centro del receptor de Big Ear, su intensidad aumentaba. Después, descendía gradualmente a medida que desaparecía del campo de visión de la antena receptora. Es, precisamente, lo que observamos en los datos de la señal Wow!

Desde entonces, **se han sucedido los intentos por comprender qué fue lo que se captó.** Se observó la misma región del cielo en muchas ocasiones, esperando captar una repetición de la señal, pero no sucedió. No se ha vuelto a detectar nada similar. Así que, en cierto modo, tenemos una evidencia extraordinaria. No porque sea muy sólida, sino porque no se parece a otras señales que hemos captado. Al ser detectada solo por una de las antenas del radiotelescopio Big Ear, es difícil determinar con exactitud el lugar de origen del mensaje. Por cómo se procesaban los datos, no era posible saber cuál de las dos antenas había captado la señal. Así que se han identificado dos regiones, relativamente cercanas, en la dirección de la constelación de Sagitario.

A esto, **hay que sumarle su frecuencia. Es muy cercana a 1.420,41 Mhz (megahercios).** ¿Qué importancia tiene este valor? Es lo que conocemos como **la línea de hidrógeno.** Cuando un átomo de hidrógeno cambia de estado, libera una pequeña cantidad de energía que tiene, precisamente, esa frecuencia. **Su estudio es muy interesante en el mundo de la astronomía y está prohibido transmitir señales en esa frecuencia para todas las transmisiones por radio del mundo.**

Así que, en teoría, se debería poder descartar que la fuente de origen fuese terrestre. Es decir, que fuese una señal terrestre que rebotase, por ejemplo, en algún fragmento de basura espacial.

Que esté prohibido no quiere decir que en algún momento no pudiese haber una transmisión en esa frecuencia. Sin embargo, se concluyó hacia finales de los años 90 que los requisitos para que la señal pudiese tener un origen terrestre no eran completamente realistas.

Esto nos lleva a considerar las posibilidades extraterrestres. Una de ellas es, evidentemente, que fuese una retransmisión de una civilización inteligente. Pero podría haber alguna otra fuente. Quizá fue un fenómeno natural que sucedió una única vez, lo que explicaría que no volviese a ser observado. En tiempos más recientes, se ha planteado que pudo tratarse de la nube de hidrógeno de los cometas 266P/Christensen y 335P/Gibbs, que, en aquel momento, se encontraban aproximadamente en el lugar apropiado. No obstante, este extremo ha sido descartado por dos grandes motivos. El primero y más importante es que la emisión debería haber sido captada por ambas antenas. El segundo es que los cometas no son brillantes en esa frecuencia de radio. Lo que nos lleva de nuevo al punto de partida inicial.

No parece descabellado suponer que la señal Wow! procedía de más allá del Sistema Solar. Eso, sin embargo, no nos lleva directamente a los extraterrestres. Entre otras cosas, porque uno de los requisitos necesarios para considerar ese extremo es que la señal se hubiese repetido en algún momento posterior; sin ella, es imposible eliminar fuentes naturales y, del mismo modo, comprender si podría haber algún aspecto que indicase que su origen es, indudablemente, una fuente artificial. Es decir, la falta de información no nos permite afirmar que fuese de origen alienígena.

A lo largo de los años se han sucedido los intentos por detectar de nuevo una señal procedente de esa región del cielo. A pesar de usar radiotelescopios más modernos y potentes no ha habido suerte. Por lo que **la señal se ha convertido en una especie de evento aislado en la historia de la astronomía**. No tenemos una explicación satisfactoria, pero estamos completamente atascados en su estudio porque no hay ninguna fuente nueva de información. Es decir, **por muchas conjeturas que podamos querer lanzar, no podemos avanzar al carecer de datos nuevos**.

Por ahora, **parece que estará destinada a permanecer en el terreno de lo que pudo ser algo muy prometedor y, finalmente, no fue**. Lo que me lleva de nuevo a las afirmaciones extraordinarias. Dentro de todo lo que hemos observado en el cosmos, esta señal parece ciertamente una evidencia extraordinaria. El inconveniente es que no lo es tanto al estar aislada y no poderse definir con claridad su procedencia.

Dejemos volar la imaginación y supongamos, por un momento, que realmente la señal Wow! fue algún tipo de mensaje extraterrestre. **¿Qué tipo de información habría contenido?** No lo sabemos, pero quizá **podemos hacernos una idea basándonos en nuestra propia experiencia**. Más concretamente, en **las sondas Voyager**, que fueron lanzadas en 1977, y que **actualmente se encuentran viajando hacia el exterior del Sistema Solar** después de haber analizado, hace ya cuatro décadas, los planetas gigantes de este pequeño rincón de la Vía Láctea.

Tanto la Voyager 1 como la Voyager 2 **llevan a bordo un pequeño disco de oro**. Su contenido es idéntico en ambos casos y contiene información detallada sobre la Tierra y el ser humano. En cierto modo, **podemos pensar en ellas como el legado de nuestra especie** si, por el motivo que

sea, no llegamos a sobrevivir en el futuro. **Si nuestra especie se extingue algún día, lo único que quedará será la información contenida en esos discos.** Pero ¿en qué consisten estos?

Por un lado, el disco de oro tiene la superficie de un vinilo. Como los que, en los últimos años, parecen estar recobrando la popularidad en ciertos entornos musicales. En el reverso, sin embargo, hay diferentes inscripciones que **contienen información codificada utilizando la línea de hidrógeno.** ¿Por qué ese dato específicamente? La suposición de Carl Sagan, entre otros científicos que trabajaron en su diseño, es que **una civilización inteligente, lo suficientemente avanzada,** como nosotros, **conocería ese concepto,** ya que es un conocimiento elemental en nuestra sociedad actual. **Una vez que descifrasen esa información,** contenida en una de las ilustraciones del disco, **todo lo demás debería ser relativamente fácil.**

En realidad, el reverso del disco es bastante aburrido. Tiene explicaciones técnicas que detallan como construir un tocadiscos que sea capaz de leer el vinilo, cómo diseñar un cabezal que pueda leerlo, así como la configuración necesaria para poder ver y escuchar los contenidos del disco. **Lo más interesante, en realidad, en este lado del disco, es un curioso mapa** que ocupa gran parte de su superficie. En él, se **indica la distancia al centro de la galaxia y también a 14 púlsares cercanos.** Los púlsares son un tipo de estrella de neutrones. Estas son un resto estelar, el producto de una estrella más masiva que el Sol que ha llegado al final de su vida en forma de supernova.

Los púlsares tienen la particularidad de ser una especie de relojes suizos cósmicos. En cierto modo, podemos pensar en ellos como faros en mitad del universo. Emiten un haz de radiación que solo puede observarse si apunta hacia la Tierra. Algunos de ellos tardan apenas milésimas de segundo en completar una vuelta sobre sí mismos. Su precisión, en estos casos, es incluso mayor que la de un reloj atómico. Hablaremos de ellos con más tranquilidad en el siguiente capítulo.

Esto tiene dos utilidades. Por un lado, **el mapa permite triangular la posición exacta del Sistema Solar.** No es necesario, ni siquiera, llegar a identificar los 14 púlsares para saber exactamente dónde se encontraría la Tierra. **No solo dónde..., sino cuándo fue lanzada la sonda que esa hipotética civilización interceptaría en algún lugar del futuro lejano.** Porque, con el paso del tiempo, los púlsares van frenando su rotación de una manera muy regular. Al medir la diferencia entre el pulso emitido en ese momento con el que emitían según está registrado en el disco, una civilización extraterrestre podría deducir cuánto tiempo habría transcurrido desde que las naves partieron de la Tierra.

En el anverso, en el lado del disco de vinilo, **lo que encontramos es información codificada muy variopinta.** Hay imágenes de los planetas del Sistema Solar, imágenes de seres humanos, de paisajes y animales. También contienen mensajes en infinidad de idiomas de la Tierra, así como una selección musical con piezas tanto de música clásica como contemporánea. En cierto modo, son como pequeñas biografías de quiénes éramos a finales del siglo xx.

Aunque este escenario puede parecer idílico, **hay que tener en cuenta que la probabilidad de que alguna de las sondas pueda ser interceptada por una civilización es extremadamente baja.** Lo más probable es que orbiten alrededor del centro de la Vía Láctea durante millones de

años sin llegar a acercarse a ninguna otra estrella. Incluso si se acercasen lo suficiente a un mundo habitado por una civilización extraterrestre, detectarlas sería muy complicado. No emitirían energía y, en esencia, podría decirse que serían invisibles en la inmensidad del espacio de la Vía Láctea. Pero, si se diese esa mínima y remota posibilidad, una civilización extraterrestre futura podría llegar a comprender cómo fueron esos seres inteligentes que vivieron en algún otro lugar de la galaxia cientos de miles o millones de años atrás.

Es el mismo criterio por el que parece poco probable que una nave alienígena llegase a la Tierra por fruto del mero azar. ¿Es posible? Teóricamente sí, pero la posibilidad es tan baja que se puede considerar nula. De hecho, no es el único reto que debemos tener en cuenta. Incluso los mensajes que enviamos al espacio sufren ese mismo inconveniente. Al enviar el mensaje de Arecibo en dirección al cúmulo de Hércules, por ejemplo, lo que estamos haciendo es enviarlo a ciegas. No sabemos si podría haber alguien allí. Comparativamente, es una minúscula región de la Vía Láctea. Es como coger un vaso de agua del mar y, al no ver peces, concluir que los océanos de la Tierra están vacíos de vida.

Las distancias en el espacio son extremadamente grandes. Las estrellas, y sus planetas, están extremadamente lejos entre sí. **Por lo que esos mensajes no dejan de ser, en cierto modo, como intentar recoger varios vasos de agua del océano y esperar que, en alguno de ellos, tengamos la suerte de encontrar un pez.**

Lo importante de las iniciativas SETI es que son un intento más por encontrar vida (vida inteligente) en otros lugares de la galaxia. Aunque por ahora ni siquiera hemos detectado vida sencilla en otros lugares del Sistema Solar o de la Vía Láctea.

En este sentido, **la iniciativa más reciente es Breakthrough Listen.** Un ambicioso proyecto que, con un presupuesto de 100 millones de dólares, tiene como objetivo analizar millones de estrellas de la galaxia en busca de señales que pudiesen resultar interesantes. Comenzó en 2016 y, por ahora, no ha experimentado grandes avances, pero en cada nueva campaña de búsqueda intenta utilizar mejor instrumentación. Las observaciones duran apenas unas pocas semanas. Pero **la cantidad de datos recogidos es tan grande que los científicos pasarán décadas analizándolos.**

Mención aparte merece, llegados a este punto, el asteroide **Oumuamua**, que visitó el Sistema Solar a finales del año 2017 y que captó la atención de personas de todo el mundo. Resultó ser **el primer asteroide, del que teníamos constancia, cuyo origen estaba fuera del Sistema Solar.** Había sido expulsado de su sistema planetario natal, en alguna estrella distante. Estaba de paso por el Sistema Solar antes de continuar su viaje a lo largo de la galaxia. Por su naturaleza, no fueron pocos los que quisieron sugerir que, quizá, se trataba de una nave alienígena en el interior de un asteroide. Aunque la posibilidad era nula, Breakthrough Listen analizó el asteroide en busca de posibles señales cuyo origen pudiese ser artificial. No se detectó nada fuera de lo normal y se determinó que su origen era completamente natural.

Hemos hablado largo y tendido de la posibilidad de vida en otros lugares de la Vía Láctea. No solo sencilla y compleja, sino incluso posible vida inteligente. Una cosa sí podemos tener clara.

Esos seres inteligentes, si es que llegan a existir en algún momento (o si han existido), se harán las mismas preguntas que nosotros. Intentarán comprender este cosmos del que han surgido. En su misión, descubrirán muchas cosas que nosotros también conocemos. Puede que también descubran cosas que todavía no alcanzamos a imaginar sobre algunos de los aspectos que nos resultan más enigmáticos en el universo.

Entre todo ese conocimiento, sin duda, adquirirán uno que nosotros ya conocemos y que resulta llamativo. Las estrellas, aunque parezcan inmutables, también tienen sus propios ciclos vitales. Nacen, viven y mueren. Gracias a su estudio hemos descubierto que, **de una manera muy literal, somos sus descendientes,** al estar compuestos de los mismos elementos que, hace millones de años, fueron fusionados en el interior de alguna estrella que ya no es más que un simple resto estelar...

CAPÍTULO VII

LA SINFONÍA DE LA VIDA

Allá donde miramos, **el universo nos enseña las señales de un ciclo que se repite una y otra vez**, desde su propio nacimiento. Incluso los objetos celestes tienen su propio ciclo vital. La vida es una sinfonía que no ha dejado de sonar. **Las estrellas tienen su cuna de nacimiento en las nebulosas**. Gigantescas nubes de gas y polvo, con decenas y cientos de años-luz de diámetro, en las que se forman multitud de nuevos astros. Las nebulosas son, probablemente, las formaciones más espectaculares y cautivadoras que podemos observar.

La nebulosa de Orión, a 1.344 años-luz de nuestro planeta, es la **región de formación de estrellas más cercana que podemos estudiar**.

No todas las nebulosas son regiones de formación de estrellas (también se las llama regiones H II [«hache dos»]). Así que **no solo se las clasifica por su naturaleza, también por su relación con la luz**. Si la nebulosa está iluminada por la luz de las estrellas que ya se han formado en su interior, decimos que es **una nebulosa de emisión**. Si, por el contrario, está iluminada por la luz de alguna estrella cercana, es **una nebulosa de reflexión**, como sucede con la nebulosa Cabeza de Bruja, que está iluminada por la luz de la estrella Rigel. Si obstruye la visión de estrellas que se encuentran por detrás, entonces decimos que es **una nebulosa oscura**, como Barnard 68.

Es habitual que en una nebulosa encontremos partes que encajan con esos diferentes tipos de nebulosa según su iluminación. Por ejemplo, **la nebulosa Trífida destaca por ser una región de formación de estrellas, así como por tener una parte de nebulosa de reflexión, una parte de nebulosa de emisión y una parte de nebulosa oscura**. Combina los tres tipos de iluminación para darle un aspecto único que la hace distinguible y destacable por encima de las demás.

Las regiones de formación de estrellas son el inicio de la sinfonía de la vida. En su interior, encontramos pequeñas bolsas de gas y polvo concentrados. Los llamamos **glóbulos de Bok**. Lejos de miradas indiscretas, **en su interior, se gesta el nacimiento de nuevas estrellas**. Algunos pueden ser realmente grandes. **Barnard 68**, sin ir más lejos, es **un glóbulo de Bok con un diámetro de medio año-luz**. En su interior está formándose una estrella que, probablemente, tendrá el doble de la masa del Sol. Pero todavía tendrán que pasar 200.000 años, o quizá más, hasta que termine su proceso de formación y comience su vida.

El mecanismo de formación de una estrella es relativamente sencillo. Todo comienza con el colapso de una pequeña región de la nebulosa, que comienza a acumular material de su alrededor. Poco a poco, el centro de esa región se vuelve cada vez más denso. Si la masa acumulada es

suficiente, tarde o temprano comenzará el proceso de fusión de hidrógeno, anunciando el nacimiento de una nueva estrella en el universo. **Una nebulosa, como la de Orión, puede dar nacimiento a miles de estrellas a lo largo de millones de años, pero no de manera indefinida.** No solo porque cada estrella roba un poco de material a la nebulosa. También porque la radiación de las jóvenes estrellas elimina el material que se encuentra a su alrededor, y que podría haberse utilizado para formar otras estrellas.

No todos los glóbulos que podamos ver en una nebulosa son glóbulos de Bok. Algunos son glóbulos de Thackeray. Podrían llegar a formar estrellas en su interior, pero se encuentran en una carrera contra reloj porque están siendo erosionados por la radiación de las jóvenes estrellas colindantes. **Las mismas estrellas que cobran vida en la nebulosa destruyen su entorno y pueden impedir el nacimiento de otros astros.**

Nuestro Sol se formó en una nebulosa similar a las que podemos observar en el firmamento. Lo hizo, probablemente, en compañía de otros astros, formando lo que conocemos como **un cúmulo abierto:** una agrupación de estrellas, unidas levemente por su gravedad, que terminan dispersándose y adquiriendo sus propias órbitas en torno al centro de la Vía Láctea. **Analizando la composición del Sol,** encontramos que, **poco después del inicio de su existencia, se vio afectado por la explosión de alguna supernova cercana.** Algo que apunta a que nuestro astro formó parte de un cúmulo abierto.

A fin de cuentas, **una nebulosa da lugar a la aparición de estrellas de todo tipo.** Algunas son muy masivas, con decenas de veces la masa de nuestra estrella y vidas muy breves. Apenas unas pocas decenas de millones de años. Otras son mucho más pequeñas que el Sol y tienen vidas mucho más largas, del orden de los billones de años.

Podría parecer contradictorio. **Los astros más masivos** tienen mucho más material a su disposición, por lo que cabría suponer que sus vidas deberían ser comparativamente mucho más largas. Sin embargo, no es así. ¿Cómo lo explicamos? Todo tiene que ver con el proceso mismo de fusión de la estrella. En esas estrellas tan grandes, la mayor parte del material no llega a utilizarse en el núcleo. No solo eso, son estrellas que pierden masa a un ritmo muy elevado. Es una cadena de eventos que garantiza que **su vida sea breve y explosiva. Las estrellas más pequeñas,** no obstante, pueden llegar a utilizar todo el material constantemente en su núcleo, por lo que tienen mucho más material a su disposición. Todo funciona más lentamente en una estrella de estas características. No son tan espectaculares como sus compañeras más masivas, pero, en el escenario de la vida de las estrellas, **son las más longevas.**

Todas las estrellas tienen un papel que desempeñar en esta gran función que es la sinfonía de la vida del cosmos. **Los astros más masivos viven vidas breves con un final explosivo.** Es ahí, **en esas explosiones,** en donde se producen algunos de los elementos que podemos encontrar en el cosmos. **Es en una supernova, y en la colisión de dos estrellas de neutrones, donde se forman elementos como el oro y el platino.**

En sus núcleos encontramos elementos como el carbono o el oxígeno, que son esparcidos al medio interestelar para que puedan ser incorporados por otras estrellas y por futuros sistemas

planetarios. **Nuestro Sistema Solar**, con su composición actual, **no podría haber existido sin que esas estrellas masivas lo hubiesen hecho antes. La Tierra y todos los planetas rocosos están formados por material que fue creado en el interior de astros que murieron hace miles de millones de años.**

Es una analogía maravillosa al ciclo de la vida que conocemos en nuestro planeta. De la muerte de seres vivos, que llegaron antes que nosotros, se aprovechan sus sucesores, que también serán, al final de sus vidas, la base del sustento de otro ciclo de la vida en esta pequeña canica azul perdida en la inmensidad de la Vía Láctea. **Los átomos de tu mano izquierda proceden de una estrella diferente a los de tu mano derecha. Eres el legado de estrellas que murieron hace miles de millones de años.** De estrellas de las que solo queda un resto estelar. Quizá de una estrella de neutrones o incluso de una estrella que se convirtió en un agujero negro.

El Sol se encuentra en la fase de secuencia principal. Es decir, está fusionando el hidrógeno que acumuló durante su formación. **Está en plena madurez, a mitad de su camino.** Lleva unos 4.500 millones de años fusionando material, convirtiendo ese hidrógeno en helio, y seguirá haciéndolo otros 4.500 millones de años. **Cuando ese material se agote, y su núcleo esté formado principalmente por helio, el Sol llegará a las últimas etapas de su vida. Se convertirá en una gigante roja.**

Sin hidrógeno, su núcleo se contraerá, aumentando de temperatura, y **comenzará a fusionar helio** durante un breve período de tiempo, de apenas unos millones de años. **Producirá carbono y oxígeno**, pero será incapaz de continuar la fusión de otros elementos, porque no es lo suficientemente masiva. Además, **expulsará sus capas exteriores al espacio**, formando otro tipo de nebulosa al que conocemos como **nebulosa planetaria**. Ese material se incorporará a otros sistemas planetarios que todavía no han nacido, ni nacerán hasta dentro de miles de millones de años. **Los elementos que una vez formaron el Sistema Solar pasarán a ser parte de otros sistemas.**

No todos los glóbulos de Bok y las regiones que colapsan en el interior de una nebulosa dan lugar al nacimiento de nuevas estrellas. Algunas se quedan a medio camino. Se convierten, por decirlo así, en estrellas fallidas. Son objetos a los que conocemos como **enanas marrones**. Son **incapaces de lograr la fusión de hidrógeno**. En su lugar, fusionan deuterio o, si son suficientemente masivas, litio. En este punto, hay que decir que **existe una leyenda urbana muy popular que cuenta que Júpiter se quedó muy cerca de ser una estrella**. Es decir, si hubiese acumulado más masa, se habría convertido en una estrella. **No es cierto**. De hecho, **ni siquiera se quedó cerca de llegar a ser una enana marrón**. Para ello, tendría que haber acumulado, al menos, unas diez veces más masa de la que tiene.

¿Cuántas enanas marrones hay en la Vía Láctea? Es difícil cuantificarlo. Es un objeto celeste de reciente descubrimiento, hace apenas unas décadas. **Algunos estudios apuntan a que podrían ser incluso más numerosas que las enanas rojas.** Estas últimas, que son las estrellas mucho más pequeñas que el Sol, suponen alrededor del 75 % del total de astros que podemos observar en la Vía Láctea. **Por lo que podría haber decenas de miles de millones de enanas marrones en la galaxia.**

Aunque son estrellas fallidas, las enanas marrones no dejan de ser un objeto de estudio interesante. En cierto sentido, podemos entenderlas como el punto intermedio entre un planeta y una estrella.

Un planeta puede ser expulsado de su sistema planetario, especialmente poco después de su formación, por diferentes interacciones. Cuando eso sucede, **se convierte en un planeta errante**, que pasa a orbitar alrededor del centro de la galaxia. En algunos casos, **se ha creído identificar un planeta de este tipo**. Sin embargo, **estudios posteriores**, en mayor detalle, **han revelado que se trataba de una enana marrón**. Además, para hacerlo todo todavía más complejo, **las enanas marrones también pueden tener sus propios sistemas planetarios**.

En la nebulosa de Orión se han detectado gran cantidad de enanas marrones. También hay muchas enanas rojas, así como otras estrellas más masivas. Destaca, por encima de todo, el cúmulo abierto del Trapecio, que se encuentra cerca de su centro y está compuesto por varias estrellas, algunas con hasta treinta veces la masa del Sol.

Hemos hablado del proceso de formación de las estrellas, de las nebulosas como la cuna de nacimiento de los astros, así como de las enanas marrones como recordatorio de que no siempre se forman estrellas. Siguiendo con la analogía, algo que también nos hace recordar que en ocasiones la vida no llega a buen puerto en el reino animal. Pero **¿qué hay de la vejez?** En el caso de una estrella como el Sol, ya hemos hablado de que tendrá una etapa de gigante roja. Aun así, en algún momento, como todo en este cosmos, morirá. **Las estrellas también mueren**, incluso las enanas rojas, que podrían parecer casi inagotables en comparación con la brevedad de una vida humana.

Todas las estrellas con masas similares a la del Sol o más pequeñas tienen como destino último convertirse en una enana blanca. No es más que el núcleo de la antigua estrella, que ha quedado expuesto al espacio. En su interior ya no hay ningún proceso de fusión. La enana blanca está sostenida por la presión ejercida por los electrones de sus átomos, que impiden que el proceso de contracción, por su propia gravedad, siga adelante. Son objetos tremendamente compactos. **Una enana blanca puede tener una masa como la del Sol, pero comprimida en tan solo el diámetro de la Tierra**. Inicialmente, pueden tener una temperatura de millones de grados, pero, sin proceso de fusión alguno, **su destino es enfriarse lentamente**.

Una vez que haya emitido todo su calor, **una enana blanca se debería convertir en una enana negra**. Un objeto estelar completamente frío. Sin embargo, este último punto es tan solo hipotético. **El universo todavía no es lo suficientemente viejo como para que puedan existir enanas negras**. Las enanas blancas más viejas que se han detectado todavía tienen temperaturas de varios miles de grados.

Este es el destino de la inmensa mayoría de estrellas de la Vía Láctea. Más del 90 % de las estrellas de la galaxia terminarán sus días como una enana blanca y, en algún momento de un futuro tremendamente lejano, una enana negra.

Pero otras estrellas, más masivas, tienen dos destinos diferentes. La presión de los electrones detiene el colapso gravitatorio de una enana blanca. Es decir, la presión que ejercen los electrones es superior a la gravedad del astro. Pero, **si la gravedad es superior, ese proceso continúa.** Los electrones son incapaces de detener el colapso y se combinan con los protones, formando neutrones. Esa es otra opción en los posibles destinos de una estrella. **Una estrella de neutrones** es el resto estelar de una estrella suficientemente masiva que, al final, termina explotando como una supernova y deja tras de sí el núcleo de aquella vieja estrella.

¿Dónde está el límite? ¿Cuál es el punto que separa a las enanas blancas de las estrellas de neutrones? Esta misma pregunta se la hizo el astrónomo indio Subrahmanyan Chandrasekhar a principios del siglo xx. Calculó que el límite máximo para una enana blanca es de 1,44 masas solares, algo a lo que conocemos como el **límite de Chandrasekhar** en su honor. Es decir, si el núcleo de una estrella tiene menos de 1,44 veces la masa del Sol, será una enana blanca. Si es superior, entonces será una estrella de neutrones.

Las estrellas de neutrones resultan particularmente fascinantes por su naturaleza. En apenas un diámetro de una decena de kilómetros, encontramos comprimida la masa de varias veces el Sol. **Algunas estrellas de neutrones emiten un haz de radiación de forma periódica, coincidiendo con su período de rotación. Los llamamos púlsares.** Son como faros en mitad del océano, que permiten a un barco saber que se está aproximando a la costa en mitad de la noche. No es una comparación inocente. **Los púlsares son muy regulares y se ha planteado que una civilización avanzada podría usarlos, precisamente, como sistema de navegación** por las estrellas, como veíamos anteriormente al hablar de los discos de oro de las sondas Voyager.

La conservación del momento angular hace que **las estrellas de neutrones puedan tener velocidades de rotación extremadamente elevadas.** El fenómeno seguramente te sea conocido. Cuando los patinadores sobre hielo encogen los brazos, su velocidad de giro aumenta, mientras que esta se reduce si los estiran. **En una estrella de neutrones, la velocidad de rotación de la vieja estrella aumenta considerablemente al ocupar ahora un espacio mucho más pequeño.** Se han medido púlsares con un período de rotación de tan solo milésimas de segundo. Así, el púlsar PSR J1748-2446ad completa 716 vueltas por segundo sobre su eje. Tiene el doble de la masa del Sol confinada en un diámetro de 32 kilómetros. En su ecuador, la estrella gira sobre sí misma a 70.000 kilómetros por segundo. Un 24 % de la velocidad de la luz.

Pero **las estrellas de neutrones no pueden ser solo púlsares.** También pueden ser **magnetares.** Estas destacan por tener **campos magnéticos muy potentes.** Tienen las mismas características que el resto de estrellas de neutrones, con una masa de en torno a dos o tres veces la del Sol y un diámetro de unos 20 o 30 kilómetros. Son tan densas que una cucharadita de una estrella de neutrones tendría una masa de 100 millones de toneladas.

Los magnetares son, también, estrellas que tardan menos de un segundo en completar una rotación sobre su eje. Pero es una fase que tiene una duración breve. Un magnetar permanece activo durante unos 10.000 años. Después, sus intensas emisiones de rayos X desaparecen. Durante ese tiempo, **los magnetares pueden experimentar sismos estelares.** Algo así como un terremoto, pero en la superficie de una estrella.

Cuando eso sucede, se emiten rayos gamma. Es la parte más energética del espectro electromagnético. **Esa emisión de rayos gamma puede afectar a sistemas estelares cercanos y, con ellos, a sus planetas.** Sin embargo, no hay de qué preocuparse. En la Tierra se han detectado varias emisiones de rayos gamma, procedentes de magnetares, que no han supuesto ningún peligro. De hecho, **estas bestias cósmicas solo son realmente peligrosas si nos acercamos mucho a ellas.** En ese caso, sí pasarían cosas realmente nefastas. **Su campo magnético es tan intenso que nos disolveríamos,** casi de forma literal. No podríamos hacer nada por impedirlo.

Las estrellas de neutrones son, sin duda alguna, uno de los objetos celestes más violentos y extremos que podemos encontrar en el universo. **El campo magnético de un magnetar es extremadamente potente,** pero el de una estrella de neutrones más normal tampoco se queda atrás. Para ponerlo en contexto, el campo magnético de la Tierra tiene una intensidad de en torno a 0,5 gauss. El del Sol es de en torno a 1 gauss, salvo en las regiones cercanas a manchas solares, donde la intensidad se dispara a varios miles de gauss. Una estrella de neutrones, por su parte, tiene un campo magnético con una intensidad de en torno a un billón de gauss, y un magnetar en torno a un trillón de gauss. Son cifras que dan muestra de lo extremos que pueden llegar a ser estos restos estelares.

Las estrellas de neutrones también pueden estar acompañadas de otro tipo de nebulosidad, diferente a la nebulosa planetaria que dejan las estrellas menos masivas. Es algo que conocemos como **remanente de supernova.** El más popular es, sin duda alguna, **la nebulosa del Cangrejo,** que fue creada por la explosión de una estrella en forma de supernova hacia el año 1054 de nuestra era. **En el corazón de la nebulosa del Cangrejo se encuentra un púlsar,** conocido como el Púlsar del Cangrejo. Nos queda un resto estelar más por descubrir...

Porque **¿qué sucede si ni siquiera la presión de los neutrones es capaz de impedir el colapso gravitatorio de la estrella al final de su vida?** Se convierte en el objeto más denso y fascinante del universo: **un agujero negro.**

Al igual que con las enanas blancas, para las estrellas de neutrones también existe un límite. Lo conocemos como el límite de Tolman-Oppenheimer-Volkoff por los físicos estadounidenses Richard Tolman y Robert Oppenheimer, así como el físico canadiense George Volkoff, que trabajaron en esta cuestión. La estimación es que una estrella de neutrones puede tener, como máximo, tres veces la masa del Sol en su núcleo. Si es más masivo, entonces el destino final de esa estrella es el de convertirse en un agujero negro.

Los agujeros negros son todo un campo de estudio por sí mismos. Son un fenómeno extremo que **nos lleva a encontrarnos con cosas difíciles de explicar y comprender en el universo.** Su gravedad, cerca de ellos, es tan intensa que ni siquiera la luz puede escapar.

La mejor forma de entender esto es imaginar la corriente de un río que termina en una cascada, como explicaba el científico y divulgador británico Brian Cox en su serie *Wonders of the Universe*. Lejos de esa cascada, donde el agua está tranquila o fluye a poca velocidad, podemos nadar tranquilamente contra la corriente. No hay ningún peligro porque la corriente no

nos puede arrastrar. Sin embargo, a medida que nos vamos acercando hacia la cascada, la velocidad del agua aumenta. Es decir, para escapar necesitamos nadar cada vez más rápido. Cerca de la cascada en sí misma, el agua va tan rápido que no hay nada que podamos hacer para escapar. La corriente nos arrastra.

Lo mismo sucede con un agujero negro. Más allá de cierto punto, **ni siquiera la luz puede escapar a su gravedad**. Nada puede ir más rápido que la luz, así que tenemos un objeto que es capaz de impedir que nada escape a su atracción, siempre y cuando se esté lo suficientemente cerca. **Los agujeros negros son el destino de solo las estrellas más masivas del universo**. En este punto, hay que mencionar que se ha planteado que quizá no todas las estrellas emitan una supernova antes de colapsar a un agujero negro.

Pero incluso un agujero negro tiene un final. El físico británico Stephen Hawking planteó que existe un mecanismo por el que los agujeros negros pueden evaporarse si no absorben material. Es lo que conocemos como la **radiación de Hawking**, que tiene lugar cerca de su horizonte de sucesos. **El horizonte de sucesos es una región alrededor del agujero negro que indica, precisamente, el punto a partir del que ni siquiera la luz puede escapar** de su potente atracción gravitatoria.

La radiación de Hawking es el mecanismo de evaporación de un agujero negro. Pero es un mecanismo tan lento que este puede tardar cientos de miles de millones, billones y hasta trillones de años en evaporarse. **Esto nos lleva, cuando pensamos en la evolución del futuro más lejano del universo, a un escenario que resulta un tanto lóbrego. Dentro de trillones de años, cuando se haya agotado el material para formar estrellas y hasta las enanas rojas se hayan apagado, los agujeros negros seguirán ahí**. Evaporándose lentamente hasta desaparecer.

Será una época en la que **el universo estará dominado por la presencia de estos objetos tan densos y violentos**. Porque la sinfonía de la vida no tiene lugar solo en la Tierra o en el ciclo de las estrellas. **El universo en sí mismo también está viviendo su propia vida. Hoy en día, a pesar de su inmensa edad, es todavía muy joven**. Podríamos decir que apenas ha descubierto cómo comenzar a andar. En su vejez, quizá sean los agujeros negros los que dominen un espacio en el que no queden puntos de luz que lo iluminen.

Desde las enanas blancas hasta los agujeros negros, los restos estelares son el recordatorio de que la vida de las estrellas tiene mucho que ver con nosotros mismos. Somos un espejo del universo. Estamos formados por sus mismos elementos. Lo que sucede en la Tierra, ese ciclo de nacimiento, vida y muerte, tiene lugar en el universo constantemente. Quizá lo mismo ocurra en otros planetas, pero ciertamente también en la escala de los astros que parecen imperturbables al paso del tiempo.

Pero, lejos de todas estas cuestiones que quizá resultan más filosóficas, lo cierto es que tanto las enanas blancas, como las estrellas de neutrones, como los agujeros negros son objetos de estudio muy interesantes. Algunos astrónomos se han llegado a preguntar, incluso, si alrededor de los dos primeros podría haber planetas que, en algún momento, reuniesen los requisitos necesarios para ser habitables. Porque, en el caso de las enanas blancas, sabemos que pueden conservar

algunos de sus planetas después de la fase de gigante roja.

En el caso del Sistema Solar, sabemos que Mercurio, Venus y quizá la Tierra serán destruidos durante esa fase, pero planetas como Marte, Júpiter o Saturno seguirán perfectamente a salvo. En el caso de los púlsares, se ha detectado la presencia de planetas en torno a alguno de ellos. Por lo que cabe preguntarse si en algún momento podrían llegar a ser habitables.

En este sentido, hay que decir que no hay estudios que parezcan particularmente halagüeños. En ambos casos nos encontramos con escenarios que resultan extremos. Un planeta tendría que estar tan cerca de una enana blanca que, probablemente, su atracción gravitatoria lo haría completamente inhóspito. En el caso de un planeta en torno a un púlsar, tendría que tener una atmósfera extraordinariamente densa para poder proteger la superficie de las potentes emisiones de rayos X a las que se vería expuesto.

Pueden parecer preguntas extrañas o absurdas, pero es necesario hacerlas para que podamos comprender cuál es el lugar de la vida en el cosmos. Porque quizá podamos hallarla, también, en escenarios que poco tienen que ver con el de una estrella que se encuentra en su fase de secuencia principal.

Quizá te hayas dado cuenta de que he dejado los agujeros negros al margen de estas consideraciones. Aunque podríamos imaginar escenarios en los que quizá la vida pudiese desarrollarse, parece poco probable que un planeta pudiese sobrevivir al nacimiento de un agujero negro. A decir verdad, los agujeros negros resultan extremadamente interesantes por muchos otros aspectos. No solo por ser los objetos más densos del universo, con diámetros incluso más pequeños que los de una estrella de neutrones. También porque hay todavía muchas lagunas en nuestro conocimiento para comprender exactamente cómo se forman. Todo esto sin entrar en los fenómenos que se dan a su alrededor, su impacto en el espacio-tiempo o algunas paradojas que descubrimos al intentar explicar su funcionamiento. **Nada de ello resulta sorprendente cuando nos encontramos ante los objetos más extremos del universo.** No en vano, **son la prisión de la luz...**

CAPÍTULO VIII

LA PRISIÓN DE LA LUZ

¿Qué sucede exactamente cuando una estrella, suficientemente masiva, colapsa sobre sí misma y da lugar al nacimiento de un agujero negro? Aunque la idea que solemos tener podría indicar lo contrario, un agujero negro es un objeto esférico. No es una especie de túnel en el tejido del espacio-tiempo.

Técnicamente, cualquier masa puede ser un agujero negro. Solo necesitamos confinarla en un espacio lo suficientemente pequeño. Un ejemplo habitual es el del Sol. No tiene la masa necesaria para ser ni una estrella de neutrones ni un agujero negro. Pero si, de algún modo, pudiésemos aplicar nosotros la energía necesaria, podríamos convertirlo en uno. ¿Qué tamaño tendría nuestro astro en ese caso? Su diámetro actual es de algo más de 1,39 millones de kilómetros. **Si confinásemos toda su masa en una esfera de solo 6 kilómetros, tendríamos un agujero negro.**

El mismo cálculo se puede hacer con la Tierra. Si la aplastásemos hasta tener un diámetro de 18 milímetros, apenas el tamaño de una canica, también se convertiría en uno. ¿Podemos hacer el cálculo hasta con un ser humano! Una persona adulta, de 70 kg, tendría que ocupar un tamaño de $1,039 \times 10^{-25}$ metros. Muy inferior al tamaño de un átomo.

A este concepto lo conocemos como el **límite de Schwarzschild**, calculado por Karl Schwarzschild, un físico y astrónomo alemán de finales del siglo xix y principios del siglo xx. **No solo nos indica el tamaño que debería tener una cantidad de masa concreta para ser un agujero negro. También nos indica la distancia a la que está su horizonte de sucesos.** El punto a partir del que ni siquiera la luz puede escapar.

En el capítulo anterior hemos visto que las estrellas muy masivas pueden colapsar y convertirse en un agujero negro de masa estelar. **Hay dos tipos de agujeros negros en el universo. Los de masa estelar**, con diámetros que, por lo general, están en torno a los 30 kilómetros. Por otro lado, tenemos **los agujeros negros supermasivos**, que, creemos, están en el centro de todas las galaxias grandes. Hemos hablado de Sagitario A* en varias ocasiones. Tiene, aproximadamente, 2,6 millones de veces la masa del Sol y un diámetro de 44 millones de kilómetros. Si lo pusiésemos en el centro del Sistema Solar, llegaría casi hasta la órbita de Mercurio. Y eso a pesar de que su perihelio, el punto más cercano al Sol de la órbita de este planeta, está a 46 millones de kilómetros.

Esto nos deja una cuestión en el aire. **¿Qué hay a medio camino entre los agujeros negros de**

masa estelar y los agujeros negros supermasivos? Lo cierto es que no lo sabemos. **Se ha planteado que podría haber un tercer tipo de agujero negro, el agujero negro intermedio**, que serviría de paso intermedio entre un agujero negro de masa estelar y uno supermasivo. Lo podríamos ver, en ese sentido, como un paso en la evolución de estos objetos. Sin embargo, aunque hay algunos objetos celestes que podrían encajar en la definición de agujero negro intermedio, en ninguno de los casos existen evidencias totalmente concluyentes.

La secuencia, si se confirmase la existencia de los agujeros negros intermedios (también denominados de masa intermedia), **vendría a ser la siguiente:** se forma un agujero negro de masa estelar que, con el paso del tiempo, va creciendo a medida que absorbe otros agujeros negros de masa estelar hasta que, finalmente, llega al tamaño de un agujero negro supermasivo. **Aunque esta parece una evolución lógica, presenta también sus propios retos.** Para algunos científicos, **no es posible que un agujero negro de masa estelar pasase a ser supermasivo en los inicios del universo.** Era poco tiempo para permitir el desarrollo de algo tan grande. No obstante, sabemos que había agujeros negros supermasivos poco después del inicio del cosmos.

¿Qué otro mecanismo podríamos plantear? Volviendo, precisamente, a la infancia del universo, algunos astrónomos creen que **es posible que hubiese grandes regiones de nebulosas que colapsasen sobre sí mismas. Pero no para dar nacimiento a nuevas estrellas, sino para formar grandes agujeros negros.**

Dos hipótesis, dos posibilidades. **¿Cuál es la correcta?** Lo cierto es que **la única forma de saberlo es continuar adelante con la ciencia.** Con nuevos instrumentos, más potentes, que nos permitan detectar más agujeros negros en el universo cercano. Quizá así detectemos, de forma indudable, la presencia de un agujero negro intermedio. O bien un instrumento que nos permita analizar el universo distante con más detalle para poder encontrar los agujeros negros que pudiesen haber colapsado directamente desde nebulosas.

Quizá por su condición de objeto más complejo del universo, **los agujeros negros parecen ser fuente de confusión y de diferentes leyendas urbanas bastante extendidas.** La más popular, probablemente, es **la creencia de que los agujeros negros lo absorben todo, como si fuesen aspiradoras.** No es así. El alcance de un agujero negro, para atraer material, no es ilimitado. Ni mucho menos. Sin ir más lejos, **si convirtiésemos el Sol en un agujero negro, todo seguiría igual en el Sistema Solar.** Los planetas seguirían orbitando a su alrededor como si no hubiese sucedido nada. Habría que acercarse a apenas unos pocos kilómetros para poder notar sus efectos.

Esto quiere decir, además, que **los agujeros negros no crecen indefinidamente.** Solo pueden hacerlo si tienen material a su alcance. **Sagitario A* es un agujero negro supermasivo inactivo.** Hace mucho tiempo que dejó de absorber material. De hecho, **tenemos un nombre específico para los agujeros negros supermasivos que sí están absorbiendo material.** Se los denomina **núcleos de galaxias activas.** Hay diferentes tipos, y, seguramente, el más popular de ellos es el **quásar.** Pero no es el único, también tenemos los **blazares** y las **galaxias de Seyfert.**

¿Cómo se diferencian unos de otros? Los tres son, en realidad, lo mismo. La diferencia entre un quásar y un blazar es su orientación respecto a la Tierra. Algo que también afecta a su luminosidad

aparente. Así, **un blazar apunta directamente a nuestro planeta** mostrando un brillo, por el disco de material que lo rodea y que tiene una temperatura muy elevada, que puede ser miles de veces superior al de la Vía Láctea. **Un quásar muestra un brillo algo inferior porque apunta en la dirección general de nuestro planeta**, pero no directamente hacia nosotros. **Las galaxias de Seyfert son ligeramente diferentes a ambos objetos** porque, a diferencia de ellos, las galaxias en las que se encuentran sí son detectables. Los quásares y blazares son, por lo general, tan distantes que no es posible identificar la galaxia en la que tuvieron lugar.

Una analogía para ilustrar mejor la diferencia entre un quásar y un blazar es la de un coche en una carretera en plena noche. Si nos ponemos en mitad de la carretera, veremos claramente los focos de luz del coche porque nos iluminarán directamente, como sucede con un blazar. Si observamos la carretera desde uno de los márgenes, podremos ver, igualmente, los faros del coche iluminando la superficie de la carretera por delante de él. Sin embargo, nos parecerá que, en comparación, el brillo de sus faros es menor a cuando nos iluminaba directamente.

Nuestra galaxia, en el pasado, también fue una galaxia activa. Lo volverá a ser, también, en el futuro lejano. Cuando la Vía Láctea choque con Andrómeda, ambos agujeros negros supermasivos se fusionarán y, durante un tiempo, la nueva bestia cósmica tendrá más material que absorber. Por lo que, visto desde otros lugares del universo, **nuestra galaxia le parecerá un quásar o un blazar a una hipotética civilización que pudiese observar ese panorama futuro desde algún lugar del cosmos.**

Los agujeros negros también resultan motivo de temor para algunas personas. ¿Es posible que la Tierra sea absorbida por uno? A fin de cuentas, son objetos que, al no emitir luz por lo general, salvo que tengan un disco de acreción a su alrededor, podrían pasar completamente desapercibidos. Para añadirle aún más desasosiego, **se calcula que en la galaxia hay millones de agujeros negros.**

Por suerte, tenemos que recordar que el espacio es muy grande. Las distancias incluso entre las estrellas son inmensas. **El agujero negro más cercano**, aunque no está confirmado por completo que realmente lo sea, **está a 2.800 años-luz.** Es decir, no supone ningún peligro para nuestro planeta. Dicho de otro modo, **la posibilidad de ser absorbidos por un agujero negro no es algo que nos deba preocupar. Es mucho más probable que, tarde o temprano, la Tierra sea golpeada por un cometa o asteroide.**

De todas formas, aprovechemos esta línea de pensamientos. **¿Qué pasaría si cayésemos al interior de un agujero negro?** Ese es uno de los escenarios más intrigantes que podemos encontrarnos en la actualidad, porque la respuesta es: muchas cosas extrañas..., con ciertas excepciones.

Los agujeros negros ejercen una gravedad muy intensa en sus alrededores. Un ser humano que cayese a un agujero negro de masa estelar se estiraría hasta convertirse en un espagueti. Es un fenómeno al que, literalmente, se le conoce como «espaguetificación». La explicación es sencilla. Al tratarse de un objeto celeste de un tamaño muy reducido, apenas unas decenas de kilómetros, la diferencia de la atracción gravitatoria entre los dos extremos de un objeto (los pies y la cabeza de

un ser humano) es muy grande. Y puede provocar el estiramiento incluso mucho antes de llegar al horizonte de sucesos. Así que, al hablar de situaciones extrañas, podemos olvidarnos de los agujeros negros de masa estelar. Si un astronauta se viese en el terrible escenario de estar cayendo a un agujero negro de masa estelar, no habría mucho que pudiésemos hacer por él.

Las cosas cambian, y mucho, si se trata de un agujero negro supermasivo. **Imaginemos que tenemos a dos astronautas**, los señores X e Y, viajando al agujero negro supermasivo en el centro de la Vía Láctea. Al llegar allí, **X decide que necesita vivir emociones fuertes y empuja a Y hacia el interior del agujero negro**. No hay nada que Y pueda hacer por evitar caer a su interior. **¿Cuál es la secuencia de eventos en este escenario?** Comencemos por el astronauta X.

Desde la perspectiva de X, su compañero Y va cayendo lentamente al interior del agujero negro. Al principio parece moverse rápidamente, pero, **cuanto más se acerca al horizonte de sucesos, su movimiento se vuelve cada vez más y más lento**. Parece, en un momento dado, que se ha detenido casi por completo, aunque no es así.

Lo que X está presenciando, en ese momento, **es la dilación del tiempo**. La extrema gravedad del agujero negro deforma el espacio-tiempo a su alrededor, provocando que, desde la perspectiva de un observador externo, como X, todo parezca pasar con más lentitud. Hablaremos de este fenómeno, y de la teoría de la relatividad, en el siguiente capítulo. Pero, por ahora, volvamos a nuestro astronauta asesino. X observa con una sonrisa malévola cómo Y se va acercando irremediamente al horizonte de sucesos. Pero **aquí no hay espaguetificación**. La superficie de un agujero negro supermasivo es muchísimo más grande que la de uno de masa estelar, por lo que **la diferencia de gravedad que se experimenta entre un extremo y otro es mínima**.

Al final, **Y termina llegando al horizonte de sucesos**, donde, desde la perspectiva de X, **muere incinerado**. ¿Por qué? **La radiación de Hawking**, de la que he hablado anteriormente, ha dado buena cuenta de Y. Es más, si X lo deseara, podría recoger esas cenizas del horizonte de sucesos y llevarlas de vuelta a la Tierra. Allí, podría contarle a la familia de Y que un terrible e incomprensible accidente acabó con la vida de su familiar.

La historia hasta este punto no parece tener nada de excepcional. Un astronauta que es empujado hacia uno de los objetos más violentos del universo sufre una muerte terrible... ¿O no? **¿Cómo es la secuencia de eventos para Y?**

Desde su perspectiva, **la secuencia es muy diferente**. Al verse en plena caída hacia el interior del agujero negro, furioso, utiliza su linterna para enviar un mensaje en código morse a X en el que jura vengarse de sus acciones. **X no llega a reconocer que lo que le está enviando Y es un mensaje**, porque la dilación temporal hace que el apagado y encendido de la linterna, para simular el código morse, sea cada vez más largo. **A medida que se va acercando al horizonte de sucesos, Y no experimenta nada fuera de lo normal**. Se siente bien. Enfadado con X, probablemente, pero bien. **Está a punto de atravesar uno de los lugares más salvajes del cosmos y no nota nada**. Quizá un ligero picor por la curiosidad y emoción de lo que está a punto de suceder.

Finalmente, **Y atraviesa el horizonte de sucesos sin que le pase nada**. Está de una pieza. En el interior de un agujero negro, pero sano y salvo. Completamente intacto. **¿Cómo es posible que tengamos dos destinos diferentes para una misma situación? Debemos de tenerlos porque, de otro modo, estaríamos violando las leyes de la naturaleza**. Por extraño que parezca, **las dos posibilidades tienen que suceder**. La física cuántica nos dice que la información no se puede perder. Es decir, cada bit que da cuenta de la existencia de Y, lo que permite demostrar que realmente existió, tiene que seguir dentro del universo. La información no puede desaparecer.

Pero, al mismo tiempo, la teoría de la relatividad dice que Y tiene que atravesar el agujero negro sin encontrarse con radiación mortal ni consecuencias nefastas. Además, para terminar de complicar las cosas todavía más, nos encontramos con que la información no puede ser clonada. Es decir, no puede haber dos copias de Y.

Todo este escenario representa lo que, popularmente, se conoce como **la paradoja de información de los agujeros negros**, que ha llevado a muchos físicos por el barrio de la amargura. **¿Cómo podemos solucionar la paradoja? ¿Es posible resolverla de algún modo?** Lo cierto es que sí.

Según algunos físicos, en realidad no existe ninguna paradoja, porque **no hay ningún observador que pueda ver ambos clones a la vez**. Es decir, nadie podría ver a la vez las cenizas de Y y a Y dentro del agujero negro. Así que **las leyes de la naturaleza permanecerían a salvo**. Sin embargo, no es una explicación completamente satisfactoria, por lo que la paradoja de información sigue estando en vigor.

Sigamos con Y un rato más. ¿Qué le sucede dentro del agujero negro supermasivo? Lo cierto es que **podría vivir el resto de su vida en condiciones completamente normales**. O, por lo menos, todo lo normales que pueden ser en el interior de un agujero negro.

En el centro de un agujero negro está la singularidad. En realidad, llamarlo «singularidad» es **la forma elegante de la ciencia de decir que no sabemos qué es lo que pasa en su interior**. Lo que nos dicen las ecuaciones que escribió Einstein es que la singularidad tiene gravedad infinita o, si lo prefieres, que el espacio está curvado de manera infinita. **No hemos observado nada infinito en el universo**, así que podemos suponer que, en realidad, lo que sucede es que **nuestra comprensión del universo deja de funcionar al llegar a un lugar tan extremo**.

Pero **¿cómo es la vida dentro de un agujero negro? Hay otro lugar y momento en el cosmos en el que también nos encontramos con una singularidad**. El punto desde el que emergió el universo en el Big Bang. Así que **mira a tu alrededor, porque es posible que la vida dentro de un agujero negro sea así**. Es una de las ideas que resulta más fascinante de este asunto. **Algunos científicos han planteado que ambas singularidades podrían ser, en realidad, una consecuencia de un mismo proceso**.

A fin de cuentas, la singularidad del Big Bang tenía una cantidad de materia enorme condensada en un punto minúsculo. Se dice, generalmente, que tenía una densidad y una temperatura muy

elevadas, pero también es posible que alguna vez escuches que el universo nació de un punto de densidad y temperatura infinitos. Es decir, podemos intentar comprender que ambas singularidades podrían ser lo mismo.

Es una idea extraña pero no carente de lógica. El planteamiento vendría a ser, en este caso, que **la singularidad de un agujero negro es lo que da lugar al Big Bang de un nuevo universo.** Ese modelo nos plantea, por tanto, que **nuestro universo pudo venir de un agujero negro de un universo anterior.** Algo que nos permitiría enfrentarnos a la idea del multiverso: **la posibilidad de que nuestro universo pueda ser uno de muchos.** Un tema del que hablaremos en profundidad más adelante, porque antes necesitamos familiarizarnos con otros conceptos e ideas.

Además de todo esto, hay que decir que **un agujero negro tiene, a nivel teórico, un equivalente opuesto: un agujero blanco.** Es decir, mientras el primero absorbe material, el segundo debería expulsarlo. **Matemáticamente, un agujero blanco es posible.** Sin embargo, **en la naturaleza no se ha encontrado ninguno, ni se espera hacerlo.** Su formación **solo debería ser posible a partir de algo que no tuviese materia.** Menciono esto porque uno de los recursos más utilizados en la ciencia ficción es el de los **agujeros de gusano.**

La idea no podría ser más sencilla. Los agujeros negros deforman el espacio-tiempo a su alrededor enormemente y su interior atraviesa el propio tejido del universo. Por lo que, **en teoría, quizá pudiésemos conectar dos lugares lejanos del espacio-tiempo entre sí y viajar a otro lugar del universo sin necesidad de viajar más rápido que la luz.** Sabemos que la velocidad de esta es un límite universal. No hay nada que pueda viajar más rápido, por lo que necesitamos encontrar soluciones alternativas si queremos visitar lugares remotos del universo en el futuro.

Incluso a la velocidad de la luz, la exploración de la Vía Láctea sería extremadamente lenta. Tardaríamos más de 100.000 años en explorarla. Muchísimas generaciones de seres humanos tendrían que dedicarse a su estudio. Además, esto plantea otro inconveniente: viajar incluso a la estrella más cercana puede llevarnos un tiempo considerable.

Aquí es donde entran en juego los agujeros de gusano. **Nos podríamos desplazar por su interior y aparecer en otro lugar del universo en un lapso de tiempo relativamente pequeño.** Lo más interesante de todo esto es que **su existencia parece matemáticamente posible.** Las ecuaciones con las que Einstein nos describe el funcionamiento del espacio-tiempo indican que es una solución válida. Es decir, **a nivel teórico, debería ser posible que dos lugares del universo estén conectados entre sí** de tal manera que podamos viajar a través de ellos y llegar a otro lugar.

Pero que sea posible matemáticamente no quiere decir, ni mucho menos, que este escenario sea necesariamente realista. Lo acabamos de ver con el ejemplo de los agujeros blancos. Lo mismo sucede con los agujeros de gusano. Por un lado, **no hemos observado nada en la naturaleza que se asemeje a lo que cabría esperar al descubrir estos.** Por otro, todo indica que haría falta algún tipo de material exótico con el que poder mantener abierto ese túnel. ¿Qué tipo de material exactamente? Es difícil saberlo porque no lo conocemos. Quizá no exista.

Por desesperanzador que pueda parecer, **es posible que estemos obligados a viajar a velocidades inferiores a la de la luz.** Quizá la única posibilidad de viajar a un lugar como Alfa Centauri sea en una misión de muchos años. Ya no hablemos de otros escenarios que podrían resultar igualmente interesantes: trasladarnos al centro de la galaxia nos llevaría unos 25.000 años a la velocidad de la luz. Si solo pudiésemos viajar al 50 % de esta, tardaríamos 50.000 años. Una cifra a todas luces incompatible con el lapso de una vida humana.

Además, **viajar a velocidades cercanas a la de la luz tiene sus propias consecuencias.** No solo por la dilación del tiempo. **A mayor velocidad, todo tiene más energía.** Un átomo, trasladándose a esa velocidad, podría ser como una bala para un ser humano. Dicho de otro modo, **es posible que nuestros cuerpos no pudiesen resistir el viaje a una velocidad muy cercana a la de la luz** porque no podamos hacer frente a los rigores del espacio.

Supongamos que ni siquiera podamos viajar al 50 % de la velocidad de la luz. No es una suposición descabellada si tenemos en cuenta que, por ahora, no tenemos naves que hayan llegado a alcanzar un porcentaje significativo, ni siquiera el 10 % de la velocidad de la luz. En este caso, el tiempo de viaje se dispara exponencialmente. **Con la tecnología actual, un viaje hasta Alfa Centauri nos llevaría miles de años.**

¿Cómo podemos hacer frente a un escenario así? **Una posibilidad sería la de la llamada nave generacional.** Una nave en la que generaciones enteras de seres humanos vivan sus vidas sin conocer nada más que las paredes de esas instalaciones.

Además, podría resultar muy peligroso en función de cuántas naves partiesen.

Imaginemos un escenario que se antoja extremo y poco probable. Al final de la vida del Sol, con la humanidad dispersa por varios objetos del Sistema Solar, nuestros descendientes lejanos tienen que recurrir a la única opción posible: desarrollar una nave generacional con la que alcanzar Alfa Centauri, en varios miles de años, para que el ser humano tenga un nuevo hogar. Supongamos que, por cualquier motivo, solo podamos construir una nave generacional. **El ser humano estaría jugándose su existencia a una sola carta.** Si la nave sufriese algún percance, en esos miles de años de viaje, nuestra especie se extinguiría.

Por suerte, el trabajo del genial Albert Einstein, aunque pueda dar dolor de cabeza, también nos permite enfrentarnos a cuestiones así y plantear otras soluciones que podrían resultar igualmente atractivas. A fin de cuentas, **nuestra especie siempre se ha enfrentado a grandes retos y no hay barrera que no podamos derribar... ¿O sí?**

CAPÍTULO IX

LAS BARRERAS DEL COSMOS

Cuenta la leyenda que *sir* Isaac Newton estaba sentado a la sombra de un árbol en su jardín cuando, de repente, una manzana le golpeó en la cabeza. La historia dice que en ese instante tuvo un momento de lucidez. Pero **la realidad fue ligeramente diferente**, según recoge la Royal Society de Londres.

Newton observó cómo caían las manzanas de los árboles del jardín de su madre. Aquello le inspiró, en el siglo xvii, para comprender que el mismo mecanismo era el que actuaba en la caída de esas manzanas y en mantener la Luna alrededor de la Tierra. Aquel brillante británico nos había descubierto el papel de la gravedad. Durante siglos, **su visión fue la que nos ayudó a explicar el funcionamiento del universo**. La mecánica celestial tenía sentido gracias a su observación y su ingenio. Pero, pese a ello, **la historia no estaba completa**.

Tuvimos que esperar hasta el siglo xx para que llegase Albert Einstein. El genial físico fue un poco más allá. Newton se había preguntado por qué las manzanas caían de los árboles y la Luna se mantenía alrededor de la Tierra. Einstein, sin embargo, quiso ir un paso más adelante. ¿Cómo era posible que la Tierra mantuviese la Luna a su alrededor? ¿De qué manera lograba el Sol, a casi 150 millones de kilómetros de distancia, mantener a nuestro planeta en su órbita? Su trabajo nos llevó a su conocida teoría de la relatividad y a un concepto con el que describir el universo de una manera elegante: **el espacio-tiempo**.

Einstein entendió que **nuestro universo está compuesto por cuatro dimensiones: tres de ellas son físicas**, las direcciones que todos conocemos: arriba-abajo, izquierda-derecha, adelante-atrás; **la cuarta es una dimensión temporal**: el tiempo. Esta última, además, **no la experimentamos en toda su plenitud**, solo percibimos un momento concreto: el presente. **No podemos experimentar el pasado ni el futuro en su conjunto**. Por decirlo así, **experimentamos el tiempo como una dimensión incompleta**. Es parte de nuestra naturaleza. Si, de algún modo, pudiésemos verlo como una dimensión entera, con su pasado y futuro incluidos, ¿querría decir esto que el futuro ya está escrito y, por tanto, no hay nada que podamos hacer para cambiar lo que vaya a suceder? La realidad es mucho más compleja.

Si, de algún modo, **pudiésemos ver la dimensión temporal en todo su conjunto, sucedería algo muy llamativo**. Veríamos el pasado, perfectamente definido, detrás de nuestro presente. Ante nosotros, **veríamos todo el futuro, pero estaría borroso**. Solo se definiría cuando se convirtiese en nuestro pasado.

Para explicarlo, podríamos recurrir al famoso caso del **gato de Schrödinger**. Como quizá sepas, es una paradoja planteada en física cuántica. En ella, encerramos un gato en una caja con un frasco que contiene un material radioactivo. Al cabo de una hora, cabe la posibilidad de que el frasco se haya roto, liberando una dosis letal y acabando con la vida del gato. También cabe la posibilidad, igualmente, de que el frasco no se haya roto y el gato esté en perfecto estado. Erwin Schrödinger explicaba, con esta paradoja, que **hasta que se abriese la caja el gato estaría vivo y muerto a la vez**. Era imposible saber cuál de los dos resultados había tenido lugar sin abrir la caja (u observar su interior de alguna manera). **Podemos llevarnos ese caso al espacio-tiempo**. Imaginemos que tenemos la caja en nuestro presente, y una hora por delante.

El futuro del gato es borroso. Puede estar vivo o puede estar muerto, así que **mientras está en nuestro futuro no podemos ver qué sucederá**. Al llegar al presente y abrir la caja, comprobamos cuál ha sido el desenlace y, a partir de ese momento, se incorpora a nuestro pasado, perfectamente definido. Podríamos poner muchos otros escenarios similares. El descubrimiento de un asteroide que estuviese en rumbo de colisión con la Tierra en una década. El futuro estaría borroso, ¿conseguiríamos desviarlo en solo una década? ¿O impactaría con nuestro planeta? Son posibilidades en un futuro completamente borroso. Solo al llegar al presente e impactar, o ser desviado, veríamos cuál es el resultado. Es decir, **que el espacio-tiempo sea un todo no quiere decir que nuestras acciones futuras estén predeterminadas de antemano**. Ni mucho menos.

No obstante, esta concepción resulta extremadamente útil. **Si pudiésemos representar el espacio-tiempo, podríamos señalar las coordenadas del nacimiento de Einstein: 14 de marzo de 1879, en Ulm, Alemania. También las de su fallecimiento: 18 de abril de 1955, en Princeton, Nueva Jersey, en los Estados Unidos. Entre ambos puntos, habría una infinidad de puntos espacio-temporales que indicarían todas las acciones que llevó a cabo a lo largo de su vida.**

No he elegido a Albert Einstein por accidente. **Su trabajo es el que nos llevó a ver el universo de una manera completamente diferente**. En 1905, publicó el estudio *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, en el que se establecían dos principios importantes. El primero, que **las leyes de la física son idénticas en todos los sistemas inerciales**. El segundo, que **la velocidad de la luz, en el vacío, es la misma para todos los observadores**, sin importar el movimiento de la fuente de luz. Pero ¿qué quería decir todo esto?

A finales del siglo XIX, **los científicos de la época creían en la existencia de algo llamado éter. Entendían que era un marco absoluto, sobre el que se podía medir cualquier cosa**, como la velocidad de la luz al moverse a través de ese medio. Sin embargo, a pesar de múltiples experimentos, **no habían logrado encontrar ninguna evidencia que demostrase su existencia. El éter implicaba que las leyes de la física eran diferentes en cada lugar.**

Pero los experimentos, por mucho que lo intentasen, no permitían detectarlo. Así que **los físicos suponían que lo que sucedía era, simple y llanamente, que sus experimentos estaban mal. La genialidad de Albert Einstein fue comprender que ocurría lo contrario**. Eran los experimentos los que estaban funcionando correctamente y la teoría la que estaba mal planteada.

En su teoría de la relatividad especial, Einstein explicaba que, si nos encontramos en un marco

sin aceleración, es decir, en movimiento en línea recta a velocidad constante, las leyes de la física no cambian y la velocidad de la luz es la misma para todos.

Podemos visualizarlo mejor de la siguiente manera. **Imaginemos que estamos en el interior de una nave espacial que se mueve a velocidad constante en línea recta.** A unos metros de distancia, en otra nave estática, otro astronauta nos observa. **En la mano tenemos un pequeño puntero láser, encima de nosotros tenemos un espejo y debajo, otro.** Apuntamos el láser hacia el espejo de arriba y lo encendemos. Medimos el tiempo que tarda en llegar al espejo de abajo y la distancia cubierta. **Desde nuestra perspectiva, la luz ha recorrido una distancia de, por poner un ejemplo, tres metros, en apenas diez nanosegundos.** Un nanosegundo es la milmillonésima parte de un segundo.

Desde la perspectiva del astronauta que nos observa, la historia ha sido diferente. Para él, el recorrido de la luz no ha sido vertical, recorriendo una distancia de tres metros en diez nanosegundos. Sino que ha viajado varios kilómetros en diagonal hacia arriba hasta chocar con el espejo, y luego varios kilómetros más en diagonal hacia abajo hasta chocar con el espejo inferior. De tal manera que **la luz ha tardado unos segundos en completar su viaje.** Pero, **a pesar de esa disparidad en el experimento, ambos tenéis una cifra que no cambia: la velocidad de la luz.** Para ambos, **la luz se mueve a 300.000 km/s** (en realidad son 299.792,458 km/s, pero siempre se redondea).

Dicho de otro modo, **habéis experimentado la dilación del tiempo.** Para ti el tiempo transcurría de forma perfectamente normal. Sin embargo, desde la perspectiva del otro astronauta, el que te observaba en la distancia, el tiempo para ti ha transcurrido más lentamente.

La belleza de la teoría de **la relatividad especial** reside en el hecho de que **nos explica que el tiempo y el espacio están íntimamente ligados.** Además, **la luz tiene una particularidad muy extraña. No podemos añadir ni restarle nuestra velocidad.** Si viajamos por la carretera a 60 km/h y nos adelanta un coche a 80 km/h, podemos decir que se aleja de nosotros a 20 km/h. Con la luz no podemos hacer ese mismo ejercicio.

Es aquí, **en la teoría de la relatividad especial,** donde también **nos encontramos con la célebre ecuación $E = mc^2$** de Einstein. **Energía es igual a masa por velocidad de la luz** (representada con la letra c) **elevada al cuadrado.** La energía y la masa están enlazadas. Esto nos lleva a una lectura muy intrigante. **Cuanta más energía apliquemos a algo, para acelerarlo, más masa tendrá desde nuestra perspectiva.**

En consecuencia, **al tener más masa, será necesaria una cantidad mucho mayor de energía para seguir acelerando.** De tal manera que, **si tienes masa, es imposible llegar al 100 % de la velocidad de la luz porque haría falta energía infinita.** Podemos acercarnos al 99,99999 % (y todos los 9 que quisiésemos) de la luz, pero nunca al 100 %. **Es un límite cósmico de velocidad. Nada puede viajar más rápido que la propia luz.**

En 1915, Albert Einstein publicó su **teoría de la relatividad general,** con la que **nos ayudó a**

entender el papel de la gravedad dentro de ese marco del espacio-tiempo. La gravedad, tal y como la había descrito Newton, no terminaba de encajar. Einstein comprendió que, en realidad, la gravedad no es una fuerza, como se describe tradicionalmente. En su lugar, es el producto de la curvatura del espacio-tiempo. Podemos imaginar el espacio-tiempo como una gran sábana suspendida en el aire. Si ponemos una esfera sobre ella, se deformará por el peso de la misma. En el espacio-tiempo sucede algo similar. **Un objeto masivo, como el Sol, deforma el espacio-tiempo a su alrededor, como si crease un valle entre las montañas.**

Podemos imaginar a la Tierra moviéndose alrededor del Sol en ese valle. Como la Tierra tiene su propio movimiento, nunca llega a moverse hacia el centro, donde está nuestra estrella, a pesar de que la curvatura del espacio-tiempo la inclinaría a ello. Nosotros mismos, sobre la superficie de la Tierra, experimentamos el mismo fenómeno. Cuando saltamos y volvemos a caer, no hay nada empujándonos hacia el centro del planeta. No hay ninguna fuerza que tire de nosotros. Lo que estamos haciendo es seguir la curvatura del espacio-tiempo. No seguimos cayendo, simplemente, porque el suelo nos frena. **El físico teórico estadounidense John Archibald Wheeler lo resumió magistralmente en una frase: «El espacio-tiempo le dice a la materia cómo moverse; la materia le dice al espacio-tiempo cómo curvarse».**

La teoría de la relatividad general realiza, también, algunas predicciones muy llamativas. Es el caso de **la existencia de los agujeros negros** (¿qué sucede cuando en el espacio-tiempo hay un objeto muy masivo?). También permite explicar algo que la teoría de la gravedad de Newton es incapaz de hacer: **el movimiento de Mercurio alrededor del Sol.**

Hasta la llegada de la teoría de la relatividad general de Einstein, Mercurio era conocido por una extraña particularidad. **Su órbita mostraba una precesión superior a la que predecía la gravedad descrita por Newton.** La precesión es un movimiento de rotación que describe la órbita de un planeta, alrededor de una estrella, a lo largo del tiempo.

En el caso de Mercurio, **la gravedad de Newton calculaba que su precesión debía de ser de 38 segundos de arco por siglo. Sin embargo, es mayor, 43 segundos de arco.** Aunque había algunas posibilidades, generalmente, al usar la gravedad de Newton se plantea que la precesión de un planeta solo puede verse afectada por la perturbación gravitacional de algún otro objeto.

Fue **Urbain Le Verrier**, un matemático francés conocido por predecir, por medio de las matemáticas, la existencia de **Neptuno**, quien **descubrió en 1859 la anomalía en la precesión de Mercurio.** Desde entonces, los científicos plantearon diferentes posibilidades. Quizá el Sol estuviese más achatado de lo que se pensaba, algo que podría explicar ese fallo en la predicción de Newton. Otra posibilidad era que el planeta tuviese una luna a su alrededor que todavía no había sido detectada. La última, y quizá la más llamativa, es que **quizá hubiese un planeta que no había sido observado, al que bautizaron como Vulcano**, que se encontraría entre Mercurio y el Sol.

Pero, a pesar de todos sus esfuerzos, no se lograba que el comportamiento mostrado por Mercurio encajase con la gravedad de Newton. No, por lo menos, sin crear discrepancias en otras observaciones. **Las soluciones planteadas solo creaban más problemas. La teoría de la**

relatividad general, sin embargo, **explicaba perfectamente el movimiento de Mercurio**. El espacio-tiempo, en su región, está mucho más curvado, provocando que su precesión sea más rápida de lo que se suponía al utilizar los cálculos de Newton.

Este hallazgo resultó particularmente interesante para Einstein. Fue una «victoria» que demostraba que su teoría estaba en lo cierto. **Otra predicción**, mucho más llamativa, **es que debería existir algo llamado ondas gravitacionales**. Einstein sugirió que quizá nunca llegarían a ser detectadas. Por suerte, se equivocaba. **En 2016 se anunció la detección de las ondas gravitacionales emitidas en la colisión (y fusión) de dos agujeros negros a 1.400 millones de años-luz**.

Podemos imaginar las ondas gravitacionales como las ondas que provoca una piedra al tirarla en un lago que está en completa calma. Sus ondas se propagan por su superficie hasta llegar a la orilla. El fenómeno es similar, pero transmitiéndose a través del espacio-tiempo en una escala imperceptible para el ser humano. **Su descubrimiento permitirá**, en las próximas décadas, **analizar el universo de una manera que no era posible hasta ahora**. La confirmación de la existencia de las ondas gravitacionales se produjo un siglo después de que Einstein pensase en esa posibilidad allá por 1916 y es un testamento a la magnitud del descubrimiento del genial físico.

Sin ninguna duda, una de las cuestiones más fascinantes que plantea es **la posibilidad de viajar en el tiempo**. Muchas personas, en algún momento, se han hecho esa pregunta, quizá deseando poder trasladarse a un pasado remoto y ver los inicios de nuestra civilización. O viajar a una época aún más distante, hace 65 millones de años, y presenciar los últimos días de los dinosaurios. **Hay multitud de momentos que nos podría gustar vivir**. Visitar la Biblioteca de Alejandría en su momento de máximo esplendor, como gran centro del conocimiento recopilado en el mundo antiguo, sería extremadamente atractivo. Pero **¿realmente podemos viajar en el tiempo?** A decir verdad, **ya estamos viajando en el tiempo a una velocidad de una hora por hora**.

Detrás de una afirmación tan aparentemente vacía, se esconde una verdad más profunda. **Es posible viajar hacia el futuro**. De hecho, si queremos acelerar ese viaje, desplazarnos a más de una hora por hora, tenemos dos posibles soluciones. Por un lado, intentar acercarnos a la velocidad de la luz todo lo posible. Si bien nos queda la incógnita de cuál es el porcentaje máximo de esa velocidad que puede aguantar un ser humano.

Para el propósito de esta reflexión, sin embargo, no entraremos en esas consideraciones: ¿qué sucede al viajar a velocidades cercanas a la de la luz? **¿Cómo percibimos el paso del tiempo?** Por extraño que pueda resultar, **para nosotros el tiempo parecería transcurrir exactamente de la misma manera**. Una hora seguiría teniendo sesenta minutos de duración. Al menos dentro de nuestro marco de referencia, en el interior de una nave imaginaria que se aleja de la Tierra a un porcentaje muy elevado de la velocidad de la luz. **Solo seríamos conscientes de la diferencia en el paso del tiempo a nuestro regreso al planeta**. En ese momento, comprobaríamos con sorpresa que lo que para nosotros ha sido una hora, para sus habitantes han sido décadas, siglos o milenios, dependiendo de la velocidad de viaje. Lo que para nosotros supondría sesenta minutos, para los habitantes de la Tierra sería un lapso de tiempo muchísimo mayor.

De esta manera, **viajar al futuro se convierte en una cuestión relativamente trivial**, a pesar de los desafíos tecnológicos y de la energía necesaria para poder hacerlo. En realidad, ni siquiera necesitamos aproximarnos a la velocidad de la luz. **La otra posibilidad es entrar en la órbita de un agujero negro y acercarnos lo máximo posible a su horizonte de sucesos.** Cuanto mayor sea la gravedad a la que nos sujetemos, más lento pasará el tiempo para nosotros.

Es un problema al que nos enfrentamos cotidianamente en nuestro día a día. La gravedad en la superficie de la Tierra es mayor que a kilómetros de altura. Eso provoca un pequeñísimo desajuste diario en **los satélites GPS**. Sus relojes, al estar a miles de kilómetros de distancia y, por tanto, en un entorno de menor gravedad, avanzan un poco más rápido que los relojes de la Tierra. Es una diferencia mínima, pero suficiente para provocar que, de no corregirse, las posiciones que nos devuelve el GPS tuvieran un error cada vez mayor.

Así que, aunque no tenemos la tecnología para viajar en el tiempo (ni siquiera hacia el futuro), sí estamos en un punto de desarrollo en el que debemos hacer frente a uno de los fenómenos de la teoría de la relatividad de Einstein.

¿Y qué hay de viajar al pasado? En este punto es importante hacer una rápida mención al concepto del tiempo. Imagina la siguiente escena: un trozo de hielo, justo al lado de un gigantesco glaciar, suspendido en el aire sobre la superficie de un lago. ¿Serías capaz de describir la secuencia al reanudar el paso del tiempo? Por supuesto que podrías. **Sabes perfectamente que ese trozo de hielo, que se acaba de desprender del glaciar, cae en el lago. Es el funcionamiento del mundo. La flecha del tiempo nos dice el orden en que suceden las cosas.**

Con cada momento que pasa, se producen cambios. Esos cambios son irreversibles. **El tiempo solo fluye hacia delante, incesante.** Por eso no vemos secuencias fuera de orden ni al revés. No vemos trozos de hielo que se forman en la superficie de un lago y, acto seguido, inician su viaje a través del aire para pegarse al glaciar. Tampoco vemos un trozo de hielo que aparece suspendido en el aire sobre un lago, cae en el mismo y, acto seguido, se pega al glaciar del que se desprendió. **Es el funcionamiento mismo de nuestra realidad. Su engranaje más importante.**

Lo más irónico de todo esto es que, en realidad, no hay nada en las leyes de la física que lo impidan. Si quisiésemos escribir los cálculos que detallarían esa secuencia del glaciar, al revés, podríamos hacerlo sin ningún tipo de impedimento. Sin embargo, **para viajar hacia el pasado, la solución más evidente no nos sirve. Necesitaríamos viajar más rápido que la luz**, algo que sabemos que no es posible.

¿Qué alternativas nos quedan? La más interesante viene, también, de la propia teoría de la relatividad. **Los agujeros de gusano**, de existir, nos permitirían recorrer grandes distancias en el espacio a través de ellos. Un atajo que tendría la consecuencia de permitirnos viajar hacia el pasado. Eso sí, **no nos permitiría viajar a voluntad.** Probablemente seríamos incapaces de visitar el momento de la construcción de las pirámides. A fin de cuentas, un túnel cósmico de este tipo debería tener una longitud específica. No podríamos ver los tiempos de gloria de Keops, pero sí podríamos utilizarlo para enfrentarnos a una de las paradojas más populares de la ciencia.

¿Qué pasaría si viajamos al pasado para impedir que nuestros padres se conociesen? Estaríamos provocando una paradoja porque, si no llegamos a existir, no podríamos viajar al pasado para impedir el encuentro y, por tanto, no habría motivo para que el viaje inicial llegase a suceder. Ante este dilema, **hay varias soluciones que evitan que caigamos en la paradoja.** Resultan muy interesantes porque son conceptos que también están relativamente popularizados en la ciencia ficción moderna. **La solución más sencilla es que, simplemente, se crearía una nueva realidad paralela.** Otra dimensión, si quieres llamarla así, en la que nuestros padres no llegarían a conocerse. De tal manera que **nuestra dimensión original seguiría su vida sin mayores problemas y nosotros nos veríamos atrapados en una dimensión alternativa,** creada por nosotros mismos, en la que no habría paradoja alguna porque, al impedir que nuestros padres se conociesen, no hay un segundo nosotros.

La otra solución es quizá más extraña. Seguro que conoces la famosa pregunta que dice **¿qué pasaría si una fuerza imparable choca con un objeto inamovible? No hemos visto paradojas en la naturaleza,** por lo que cabe suponer que puede haber una fuerza imparable o bien un objeto inamovible, pero no ambas. O lo que es lo mismo, **si no hubiese alguna dimensión alternativa, algo pasaría, en la naturaleza, para impedir que se produzca esa paradoja.** Esas posibles soluciones no implican, además, que necesariamente tengamos que sobrevivir. Por ejemplo, al intentar evitar el encuentro, quizá nos atropelle un coche provocando nuestra muerte.

También podemos imaginar una máquina del tiempo como un dispositivo para viajar a través de un agujero de gusano. Algo que nos da otro dato que quizá hayas escuchado en alguna ocasión: **no podríamos viajar a un momento anterior a la construcción de la máquina del tiempo.** A fin de cuentas, al atravesar un extremo de un agujero de gusano estaríamos viajando a algún momento en el pasado. Al viajar en sentido opuesto, sin embargo, estaríamos volviendo de nuevo al presente. Por lo que podemos imaginar que ese hipotético agujero de gusano, tendría un extremo fijo en el pasado, anclado en el instante en el que se construyó la máquina. El otro extremo nos llevaría de vuelta al presente.

¿Cómo podemos saber que no se ha construido una máquina del tiempo y que no hay viajeros del futuro entre nosotros? Esa misma pregunta ya se le ocurrió a Stephen Hawking en 2009. Decidió llevar a cabo un experimento infalible. **Celebró una fiesta exclusiva para viajeros en el tiempo.** Lo primero que tuvo lugar fue la propia festividad, en la que el célebre astrofísico británico estuvo completamente solo. Lo segundo, unos días después, fue publicar la invitación para los viajeros en el tiempo, especificando el momento en el que la fiesta había tenido lugar. Como ya sabemos, no apareció nadie, lo que hace pensar que los viajeros del tiempo no están entre nosotros...

Olvidémonos de los agujeros de gusano y las máquinas del tiempo por un instante. **¿Hay alguna otra manera de poder viajar al pasado?** Lo cierto es que, en teoría, sí. Es un concepto muy popular en la ciencia ficción moderna. **Se trata del motor de curvatura de Alcubierre,** planteado por el físico teórico mexicano Miguel Alcubierre. **Su funcionamiento nos permitiría viajar a otros lugares del universo (y, por tanto, en el tiempo) sin necesidad de acercarnos a la velocidad de la luz.** Para ello, plantea estirar el tejido del espacio-tiempo en una ola. De tal

manera que el espacio, por delante de nosotros, se contraiga y, por detrás de nosotros, se expanda. Una nave que estuviese dentro de esa ola podría navegar la región.

Aquí entra en juego una propiedad del espacio que quizá te resulte familiar: **el propio espacio en sí mismo no tiene un límite de velocidad.** Hay galaxias que se alejan de nosotros a velocidades superiores a la de la luz. No es que esas galaxias estén físicamente moviéndose a estas velocidades. En su lugar, lo que sucede es que el espacio entre esa galaxia y nosotros está expandiéndose a una velocidad superior. En cierto modo, podemos decir que ese límite de velocidad cósmico es exclusivo para todo lo que está dentro del universo, pero no para el universo en sí mismo.

Una nave que utilizase un motor de curvatura de Alcubierre estaría dentro de una burbuja de curvatura (así se denomina a ese tipo de olas que plantea el físico mexicano) y, desde su perspectiva, no estaría moviéndose. Sería el espacio que lo contiene, la burbuja, lo que estaría moviéndose a una velocidad superior a la de la luz. Algo que permitiría cubrir grandes distancias en el cosmos sin romper las leyes de la física. **Es una solución muy atractiva sobre el papel, pero nos deja con varias dudas en la práctica.**

Por un lado, en el caso más optimista, sabemos que no tenemos la tecnología necesaria para curvar el espacio-tiempo a voluntad. Ni siquiera tenemos la capacidad de manipularlo a un nivel elemental, por lo que queda mucho camino por recorrer en ese sentido. Pero no es el único impedimento. **No hemos observado burbujas de curvatura en el universo.** Es decir, no parece que sean fenómenos naturales. Algo que nos lleva a una cuestión inevitable: **¿cómo podríamos crear esas burbujas de curvatura?** Puede que la respuesta sea la misma que para crear un agujero de gusano. Quizá sea necesario algún tipo de material exótico que nos permita crear una burbuja de este tipo y mantenerla activa.

Si nos ponemos pesimistas, sin embargo, no necesitamos preocuparnos por ninguna de estas consideraciones porque una nave de curvatura, si es que tecnológicamente fuese posible construirla, necesitaría una cantidad de energía desorbitada para poder desplazar a una única persona.

En cualquier caso, **el planteamiento de Miguel Alcubierre debe ser visto, principalmente, como lo que es: un ejercicio teórico que nos permite explicar cómo podríamos cubrir grandes distancias en el espacio sin violar las leyes de la física** y, además, cómo funcionaría una nave que utilizase esos principios. Algo que es imposible ahora mismo podría ser perfectamente factible dentro de miles de años.

Al pensar en otras civilizaciones, que vivan en mundos distantes, hay que tener en cuenta este mismo factor. El tiempo es un obstáculo que a veces ignoramos alegremente. **Si hay vida en otros lugares de la Vía Láctea, hay que tener siempre presente que ven nuestro pasado.** Si su mundo está a 1.500 años-luz, ven la Tierra tal y como era hace 1.500 años. Es decir, no tienen ninguna manera posible de saber que nuestra civilización está tecnológicamente desarrollada y que tenemos incluso una estación espacial.

Lo mismo se aplica para nosotros. Si observásemos, en algún momento, un planeta que estuviese habitado, sin ningún lugar a dudas estaríamos observando su pasado, por lo que no podríamos saber en qué estado se encuentra su tecnología actual. **Las comunicaciones, al transmitirse a la velocidad de la luz, también serían lentas.** Algo irónico si tenemos en cuenta su velocidad, pero inevitable dadas las enormes distancias que separan las estrellas de la Vía Láctea. **Todavía quedan muchas cosas por descubrir.** Uno de los grandes retos de los científicos modernos es, de hecho, **conseguir encontrar una solución universal.** Un marco que nos permita explicar todas las fuerzas fundamentales del universo. **Es un desafío monumental al que los físicos llevan enfrentándose desde hace más de un siglo...**

CAPÍTULO X

LA LLAVE MAESTRA DEL UNIVERSO

En su interior más profundo, el universo está regido por cuatro aspectos. Popularmente, los conocemos como las fuerzas fundamentales. Aunque describirlos como fuerzas no es exactamente correcto. Es más correcto decir que **son la naturaleza en sí misma**. Curiosamente, podemos distinguirlos en dos grandes grupos muy bien diferenciados.

Por un lado, tenemos el mundo de lo muy pequeño. Es el dominio del electromagnetismo, la interacción nuclear débil y la interacción nuclear fuerte. Se manifiestan en el mundo de lo microscópico, pero sus efectos son fácilmente palpables en nuestro día a día de formas que no siempre son sutiles.

La luz visible, lo que perciben nuestros ojos, es a fin de cuentas una parte muy concreta del espectro electromagnético. **La luz del Sol**, toda su energía, que cubre un amplio rango del espectro electromagnético, es fundamental para que haya vida en la Tierra. Es parte de nuestras vidas, permitiéndonos tener electricidad, solo por poner un ejemplo evidente y aparente.

Pero ¿qué hay de **la interacción nuclear débil y fuerte**? ¿Cuáles son las formas en que podemos percibirlos en el mundo de lo muy grande, lejos de sus dominios? **Es la interacción nuclear fuerte la que mantiene nuestros átomos unidos.** Sin ella, y sin todas las fuerzas fundamentales de la naturaleza, en realidad no podríamos existir. Nuestros átomos no podrían mantenerse unidos.

La interacción nuclear fuerte es la fuerza fundamental más intensa de la naturaleza. Su radio de acción es muy limitado, sin embargo. Confinado principalmente al núcleo del átomo. Justo después, encontramos **el electromagnetismo, que es unas cien veces más débil que la interacción nuclear fuerte.** Después, **la interacción nuclear débil, unas mil veces más débil que el electromagnetismo.** El decaimiento radioactivo de las moléculas le corresponde a esta fuerza. Así que **es responsable, por ejemplo, del proceso de fisión nuclear que tiene lugar en las centrales nucleares.**

Estas tres fuerzas dominan el mundo de lo muy pequeño. No obstante, **su efecto en la escala de lo más grande es imperceptible.** En su lugar, **el reino de los planetas, las galaxias y el universo está regido por la gravedad.** Es la fuerza más débil de todas, siendo 10^{38} veces más débil que la interacción nuclear fuerte, pero es la que provoca que estrellas y planetas se mantengan unidos por su propia masa. **Lo domina todo en la escala del universo...** y también en la de nuestro día a día. **Si saltamos en la superficie de la Tierra, rápidamente regresamos al**

suelo por acción de la gravedad.

Es en este punto donde nos encontramos con un curioso dilema. **Para explicar las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, necesitamos recurrir a dos marcos de trabajo bien diferenciados.** Por un lado, tenemos **la mecánica cuántica**, que nos permite explicar y comprender el funcionamiento del mundo en sus escalas más pequeñas. Por otro, **la teoría de la relatividad**, que nos permite entender todo lo referente a la gravedad. En su forma actual, **son incompatibles entre sí.** No hay ningún mecanismo aparente, que hayamos podido observar, que permita explicar las cuatro fuerzas fundamentales a partir de un mismo principio.

Cada uno de los dos marcos funciona excepcionalmente bien dentro de su área de especialización. La mecánica cuántica nos da resultados muy precisos en el mundo de lo microscópico. La teoría de la relatividad es igual de exacta en la escala del universo. Pero, por más que se intente, ambos marcos son completamente incompatibles entre sí. **Para poder establecer la conexión necesitamos una alternativa que sea capaz de armonizar ambos mundos.** Porque, en lugares como el interior de un agujero negro, nuestro conocimiento de la física se rompe. Es un lugar muy pequeño con una cantidad de masa enorme, donde la teoría de la relatividad, por ejemplo, no nos puede explicar qué pasa.

De todo esto surge uno de los grandes problemas de la física moderna, que todavía está en proceso de solución. **La búsqueda de una teoría del todo. Una llave maestra**, por decirlo así, **que nos permita unificar las fuerzas fundamentales del universo.** Si la obtuviésemos, podríamos explicar, con una única teoría, todo lo que sucede en el universo.

Pero para ello es necesario ir más allá. La observación del mundo, en la escala en la que lo podemos ver con nuestra tecnología actual, parece insuficiente. Durante décadas, físicos de todo el mundo han intentado desarrollar una teoría del todo, con resultados dispares. Algunos muy poco prometedores, otros mucho mejores. En ocasiones, incluso ha llevado a que **mentes tan brillantes como la de Stephen Hawking hayan llegado a preguntarse si, realmente, existe la posibilidad de desarrollar una teoría del todo.** Es posible que se trate de una búsqueda inútil, por imposible.

Encontrar una teoría del todo no solo nos permitiría trabajar con una única teoría para explicar el mundo que nos rodea. **Nos permitiría, también, comprender el universo de una manera que, por ahora, es imposible.** Con ella, probablemente, **podríamos entender qué sucede en el interior de un agujero negro.** O si es posible que haya agujeros de gusano que conecten este universo con otros.

Solo por mencionar algunas posibilidades tentadoras... ¿Existen otros universos? Una teoría del todo podría permitirnos hacer hipótesis muy sólidas al respecto. No se trata, por tanto, de una mera cuestión de ser prácticos. Es una de las grandes misiones de la ciencia porque, con ella, **podríamos derrumbar los muros que todavía se resisten a la física moderna** y que, parece, aguantarán en pie durante mucho tiempo.

Entre las diferentes teorías que se han planteado como posibles teorías del todo, hay dos que gozan de especial popularidad. Si bien es justo decir que, de ellas, la más popular, con mucha

diferencia, es **la teoría de cuerdas**. La otra, denominada **teoría de la gravedad cuántica de bucles**, no goza del mismo nivel de conocimiento y popularidad dentro del público más general. No hay que olvidar, a fin de cuentas, que **es la primera la que parece ser una mejor candidata para convertirse en teoría del todo**. Siempre y cuando, claro está, se puedan verificar algunas de las afirmaciones que plantea, algo que no será sencillo.

Aprovechando esa popularidad, **comenzaremos por la teoría de cuerdas**. Intrigante en su hipótesis y, también, en todo lo que plantea sobre el universo cuando comenzamos a sumergirnos en ella. Para encontrar el origen de la teoría de cuerdas es necesario remontarse a 1919. Es en ese momento cuando **Theodor Kaluza**, un físico alemán, plantea una idea que parecía ser una preocupante señal de que su salud mental no estaba en las mejores condiciones. **Propuso que el universo podría tener más de las tres dimensiones físicas con las que estamos familiarizados**.

A pesar de lo exótico de esta afirmación, Kaluza no terminó internado en ninguna institución mental alemana. Ni mucho menos. Al contrario, tenía motivos fundados para pensar que su línea de pensamiento no era una idea completamente descabellada. Solo unos años antes, en 1907, Einstein había planteado su ya famosa teoría de la relatividad.

Hoy en día, vemos el trabajo de Einstein como una genialidad que nos permite comprender el universo de una manera mucho más profunda de lo que era posible hasta aquel momento. **En su tiempo**, sin embargo, **la idea parece que fue recibida con cierta frialdad**. A fin de cuentas, **Newton ya había explicado qué era la gravedad**. ¿Qué necesidad había de ahondar en aquello? Ya se sabía cómo se movían los planetas o por qué caían las manzanas de los árboles.

A **Albert Einstein**, a pesar de ello, **le preocupaba un aspecto menos aparente de la gravedad**. ¿Cómo funcionaba? ¿Cómo era posible que el Sol, a 150 millones de kilómetros de la Tierra, **fuese capaz de ejercer su gravedad**? ¿Cómo la transmitía? Einstein terminó comprendiendo que, en ausencia de materia, **el espacio-tiempo puede describirse como una superficie completamente lisa**. En presencia de algo que tenga masa, como una estrella, **el espacio-tiempo se curva a su alrededor**. Es esa curvatura, por tanto, **la que comunica la gravedad**. De tal manera que podemos imaginar que la Tierra se mueve dentro de un valle provocado por la curvatura que provoca la masa del Sol en el espacio-tiempo. Era una observación elegante y compleja. Pero, por encima de todo, funcionaba.

Así que **Kaluza entendió que Einstein había logrado describir la gravedad como un conjunto de curvas y deformaciones en el espacio-tiempo**. En su época, solo se conocían dos fuerzas fundamentales, la gravedad y el electromagnetismo. Por tanto, **se preguntó si sería posible explicar el electromagnetismo de la misma manera**, como curvas y deformaciones.

Claro que ¿en qué exactamente? Porque **la teoría de Einstein utilizaba el espacio-tiempo**, es decir, todas las dimensiones conocidas, para describir la gravedad. Como no parecía haber nada más, **Theodor sugirió que quizá el universo tuviese una dimensión más**. De manera que habría cuatro dimensiones físicas y una temporal.

Lo más sorprendente de todo esto es que, cuando el físico decidió ponerse manos a la obra y

comenzó a escribir las ecuaciones que describían las curvas y deformaciones de un universo de cuatro dimensiones físicas, **se encontró con las mismas ecuaciones de Einstein para la gravedad... y una más: la ecuación que describe el electromagnetismo.**

Sobre el papel, parecía una genialidad. **El razonamiento de Kaluza, en apariencia, funcionaba.** Pero había que salir del papel para ver que existían dos grandes inconvenientes que no tenían una solución nada sencilla.

Por un lado, la pregunta más obvia. **¿Dónde estaría esa cuarta dimensión física?** Si el universo tiene más dimensiones, ¿cómo es que no las podemos ver? Por otro lado, otra pregunta no menos importante: **¿esta teoría funciona si la aplicamos al mundo que nos rodea?**

Aquí es donde la sugerencia de Kaluza comienza a desmoronarse como un castillo de naipes. **La respuesta a la primera pregunta, dónde están esas dimensiones adicionales, llegó en 1926 de la mano del físico sueco Oskar Klein. Propuso que quizá hubiese dimensiones grandes y pequeñas.** Las tres que todos conocemos serían las grandes. El resto serían pequeñas, quizá de tamaño microscópico, **rizadas y enrolladas sobre sí mismas.** Así que **no podríamos verlas de ninguna manera.** La parte de las dimensiones, por tanto, nos dejaba un pilar relativamente sólido para la hipótesis de Kaluza. **No se podía apuntar a ningún lugar del universo para encontrar esas dimensiones adicionales,** pero sí había motivos para pensar que, **quizá, existiesen en una escala más pequeña de lo que podemos imaginar.**

Pero ¿y la segunda pregunta? **La idea de Kaluza resultó ser buena solo sobre el papel.** Al aplicarla al mundo real, no funcionaba. **Era imposible obtener información que ya era conocida, como la masa de un electrón.**

El planteamiento de Kaluza, **la teoría de cuerdas, fue cayendo poco a poco en el olvido.** Convirtiéndose casi en una anécdota hacia mediados del siglo pasado. Pero no llegó a desaparecer por completo. Al contrario, **volvió a resurgir con vigor hacia finales del siglo xx,** pero lo hizo **de una manera diferente y mucho más ambiciosa.**

Originalmente, se conoció como **la teoría de supercuerdas.** Un término que, aunque se sigue usando en la actualidad, parece haber caído en desuso en favor de la teoría de cuerdas. Estrictamente hablando no son lo mismo: la teoría de cuerdas como tal fue la que planteó Kaluza a principios del siglo xx, mientras que la de supercuerdas es la que surgió a finales del mismo siglo a raíz de aquellos planteamientos. Pero **en la actualidad al hablar de teoría de cuerdas se suele hacer mención, en realidad, a la teoría de supercuerdas.** Esta teoría va un paso más allá de lo que Theodor Kaluza tenía en mente. Comienza con una pregunta muy simple, para desvelar una realidad que podría ser extremadamente compleja.

¿Cuál es el elemento más pequeño, indivisible e inseparable que compone el mundo que nos rodea? Aunque los átomos son muy pequeños, no son la unidad más pequeña. Podemos descender un poco más y encontraremos quarks (entre otras cosas). Así, un protón está formado por dos quarks arriba y un quark abajo. Mientras que el neutrón está formado por dos quarks abajo y un quark arriba. **No hay una unidad más pequeña que un quark,** al menos por ahora. Es decir,

nuestro conocimiento termina en los quarks. Pero ¿y si hubiera algo todavía más pequeño?

Aquí es donde la teoría de supercuerdas entra en juego para sugerir que en el interior de esos quarks hay un filamento de energía que vibra. O, si lo prefieres, **una cuerda**. Podemos imaginar esas cuerdas como las de un instrumento musical. De forma que, **según la vibración que emitan, producen un resultado u otro**. En una guitarra, por ejemplo, esto se traduce en diferentes notas musicales. En el cosmos, esas cuerdas producirían, según su vibración, las diferentes partículas que lo componen. Según este planteamiento, sería su pieza básica. Todo estaría, en su nivel más pequeño y fundamental, compuesto por cuerdas. Es una hipótesis muy elegante. **Tanto las partículas de la materia como las de las fuerzas fundamentales tendrían un origen común.**

Así que **la teoría de supercuerdas nos lleva, directamente, a intentar explicarlo todo**. No solo a unificar las fuerzas fundamentales, sino a incorporar, también, todos los aspectos de la naturaleza. Pero **¿cómo saber si estamos en lo cierto?** Nos hace falta repetir el mismo proceso que ya hicimos con la idea de Theodor Kaluza. Así, descubrimos que **las matemáticas de la teoría de supercuerdas no funcionan con un universo de tres dimensiones espaciales**. Tampoco con uno de cuatro. Ni con cinco o seis dimensiones. **Es necesario un universo de diez dimensiones físicas y una temporal para que la teoría de supercuerdas funcione.**

En este sentido, Oskar Klein vuelve al rescate. Ya sabemos que **existe la posibilidad de que haya dimensiones mucho más pequeñas de las que podemos percibir**, enrolladas sobre sí mismas. Aunque, suponiendo que existiesen, **¿qué función podrían tener?** Quizá sean las encargadas de definir la naturaleza en sí misma. Es decir, **esas dimensiones adicionales, y la forma que tuviesen, podrían definir las maneras en las que vibran las cuerdas**. De tal modo se **explicaría, también, por qué la velocidad de la luz es 300.000 kilómetros por segundo**, y no algún otro valor. Estaríamos ante una llave maestra del cosmos. Una herramienta para entender la realidad en la que vivimos, desde su escala más pequeña.

No solo eso, la teoría de supercuerdas nos permite explicar, también, qué sucede en un agujero negro. **Podríamos, incluso, llegar a entender qué pasó antes de que tuviese lugar el Big Bang**. Incluso, **nos abriría las puertas a un tema que veremos posteriormente: el multiverso**. La idea de que este universo podría ser, simplemente, uno de un gran número de universos, quizá infinito.

Todo esto queda muy bien plasmado en un papel. Pero ¿cómo lo comprobamos? **¿Cómo podemos demostrar que esas cuerdas realmente existen y, por tanto, convertir la teoría de cuerdas en una teoría del todo?** La respuesta podría no estar muy lejos de nuestra tecnología y de nuestra capacidad. **El Gran Colisionador de Hadrones, en Suiza, podría servirnos para encontrar evidencias indirectas de la existencia de las cuerdas**. La evidencia directa, es decir, **observar una cuerda en la naturaleza, nos llevaría a tener que construir un colisionador del tamaño de la Vía Láctea**. Por ello, en su lugar, tenemos que recurrir a métodos indirectos. El funcionamiento del Gran Colisionador de Hadrones es simple. Hacemos chocar dos haces de protones con una energía muy elevada y observamos qué sucede cuando toda esa energía se libera en la colisión. Es posible medir la energía de los haces antes y después de la colisión.

Como quizá sepas, **la energía ni se crea ni se destruye**. Así que, en esa colisión, **la energía**

resultante debe ser igual a la empleada inicialmente en la colisión. Si no fuese así, y tuviésemos menos energía, querría decir que ha escapado a algún lugar. ¿A dónde? Probablemente a alguna de esas dimensiones extra que, en teoría, compondrían nuestro mundo.

Por ahora, los resultados no muestran pérdida alguna de energía, pero no es motivo para descartar la teoría de cuerdas. Es posible, simplemente, que no se esté utilizando la cantidad de energía necesaria para provocar el fenómeno. No sería la primera vez que sucede en el mundo de la física. **Ciertas partículas, como el bosón de Higgs, solo se manifiestan en niveles de energía muy elevados.** No es descabellado pensar, por tanto, que sería necesaria una potencia mucho mayor para provocar que parte de la energía se pierda en esas dimensiones adicionales. Aunque esto nos deja una parte positiva: **estamos ante una teoría que podría ser comprobada en los próximos años o décadas, en el curso de nuestras vidas.** Una idea que, de ser demostrada cierta, cambiaría fundamentalmente nuestra comprensión del universo y nos ayudaría a desentrañar algunos de los grandes desafíos de la ciencia moderna.

Nos queda una segunda teoría que explicar: **la gravedad cuántica de bucles.** En muchos sentidos, **la competidora directa de la teoría de cuerdas.** Especialmente, porque mientras la teoría de cuerdas parte del mundo de la física cuántica e intenta incorporar la gravedad a su modelo, en este caso la operación es la opuesta. **Partiendo de la relatividad,** el marco que nos permite comprender y explicar la gravedad, **se intentan añadir los aspectos cuánticos de la física.** Hay que destacar que, **aunque esta teoría hace algunas predicciones interesantes, no se encuentra en un estado de desarrollo tan avanzado como el de la teoría de cuerdas.**

Pero vayamos por partes. **La gravedad,** aunque es mucho más débil que el resto de interacciones fundamentales de la naturaleza, **debería ser perceptible también en el mundo cuántico.** En este sentido, sabemos que **el resto de interacciones tienen una partícula mensajera.** El fotón, por ejemplo, es la partícula mensajera del electromagnetismo, los bosones W y Z son las partículas mensajeras de la interacción débil, y el gluon es la partícula mensajera de la interacción nuclear fuerte. **La gravedad no parece tener una partícula mensajera, pero, de haberla, sería conocida como el gravitón.** Un concepto que aparece con cierta frecuencia en el mundo de la ciencia ficción. Gracias a nuestro conocimiento de la física, **se pueden deducir ciertas propiedades del gravitón.** Por ejemplo, **no debería tener masa,** ya que el alcance de la gravedad es infinito (si bien su intensidad decae con el cuadrado de la distancia a la que nos encontremos) y **debería ser neutro, sin carga eléctrica alguna.**

Por desgracia, **la tecnología de la que disponemos no parece lo suficientemente avanzada como para detectar un gravitón,** suponiendo que este realmente exista. No se puede descartar que esté ahí, por ahora no se ha podido ver. Esto, sin embargo, no nos impide hacer otras suposiciones sobre el mundo que conocemos. **El espacio-tiempo,** que hemos descrito como un gigantesco manto liso, que se deforma en presencia de objetos masivos, **pasaría a tener un tamaño cuántico mínimo.** Es decir, estaría compuesto, a nivel cuántico, por pequeños puntos, formados por **la distancia mínima que sería posible recorrer.** Dicho de otro modo, tendrían un tamaño mínimo, no serían infinitamente pequeños. Para intentar visualizarlo de otra manera, podemos imaginar un objeto que dividimos constantemente hasta que, finalmente, llegamos a **un tamaño tan pequeño que nos es imposible continuar más allá.**

Esa unidad tiene un valor en física. Se trata de la **longitud de Planck** y equivale a 1×10^{-35} metros. Según esta teoría, **el espacio estaría, por tanto, compuesto de diminutos bucles.** En cierto modo, algo similar a los átomos que componen nuestros cuerpos en su escala más pequeña. Estos bucles, a su vez, estarían enlazados en una gran red. Por lo que, **de estar en lo correcto, tendríamos una versión cuántica de la gravedad** y no habría ningún impedimento para unificar todas las fuerzas fundamentales de la naturaleza.

Cabe destacar, de todas formas, que a diferencia de la teoría de supercuerdas, **la teoría de gravedad cuántica de bucles se ciñe exclusivamente a las fuerzas fundamentales.** No incluye la materia en sí ni otros aspectos. Sin embargo, que sea una teoría menos ambiciosa en ese sentido no le quita menos validez para ser una firme candidata a teoría del todo.

De hecho, **nos permite hacer, también, predicciones sobre aquellos puntos en los que la física deja de funcionar.** Tanto en el centro de un agujero negro como en el Big Bang, hacemos referencia a la singularidad, o al punto cero. El lugar en el que se concentra toda la masa del agujero negro, en el primer caso, y toda la masa del universo, en el caso del segundo. **Con la gravedad cuántica de bucles, podemos eliminar ambas singularidades.**

En este modelo, y al haber un gravitón por medio, **sí podríamos explicar qué sucede con la gravedad a nivel cuántico** porque, en ese pequeño espacio, sí sería una fuerza dominante. Al hacerlo, descubrimos que **el Big Bang, por tanto, según esta teoría, no habría sido el nacimiento del universo a partir de un punto cero** con toda la materia acumulada en él. **En su lugar, habría sido un Big Bounce.** Un universo anterior colapsó sobre sí mismo y, al llegar al tamaño mínimo posible, volvió a expandirse, dando nacimiento a nuestro cosmos.

En el caso de un agujero negro, el planteamiento es que **en el lugar de la singularidad encontraríamos una estrella de Planck.** Un tipo de astro que sería incapaz de colapsar hacia algo más pequeño que la propia longitud mínima que hemos mencionado antes. No solo eso, **el aparente colapso del agujero negro debería revertirse muy rápidamente.** Algo que choca con la estabilidad, casi inalterable, que exhiben los agujeros negros del universo.

¿Cómo explicarlo entonces? **Si la estrella de Planck fuese un concepto real, tendría una gravedad elevadísima.** Tanto que **el paso del tiempo a su alrededor sería extremadamente lento.** Hasta el extremo de que **ese proceso de rebote, que debería suceder en un santiamén, tardaría mucho más que la edad actual del universo.** Por lo que, de nuevo, nos encontramos ante una explicación elegante para el mundo que nos rodea.

Los obstáculos de la gravedad cuántica de bucles son, sin embargo, de una magnitud más que considerable. Todavía **no se ha logrado demostrar que la gravedad cuántica exista.** Es posible que la tecnología para llegar a demostrarlo, si es que realmente esta es una hipótesis correcta, esté todavía a décadas o incluso siglos de su creación. **El hallazgo del gravitón sería una revolución en la física,** de una magnitud comparable a lo que supondría descubrir evidencias de una cuerda. **Ambos conceptos, no obstante, son por ahora solo ideas elegantes** que nos ofrecen explicaciones que nos ayudarían a comprender el universo más allá de los límites de la física

moderna.

Aunque hay científicos que han trabajado en ambas teorías durante décadas, **es posible que**, en realidad, **no haya una teoría del todo hacia la que trabajar**. Esta idea fue planteada por el propio Stephen Hawking, que llegó a poner en duda si realmente valía la pena perseguir la ansiada teoría del todo. A fin de cuentas, **quizá sea imposible unificar ambos mundos**. Puede que lo más pequeño y lo más grande sean reinos realmente irreconciliables. **No hay nada que diga que el universo deba cumplir con nuestras expectativas**.

Si nos sirve como consuelo, en el camino hacia esa teoría del todo, los científicos que trabajan en ella, ya sea por medio de la teoría de cuerdas, o bien por la teoría de la gravedad cuántica de bucles, nos ayudarán a profundizar en el conocimiento del mundo que nos rodea. Es parte de nuestra naturaleza. **Somos criaturas curiosas, con ansias de conocimiento y exploración**. Algo que nos ha llevado, desde hace mucho tiempo, a hacernos preguntas que por ahora no podemos responder. **Preguntas que no solo atañen a nuestra propia especie, o a por qué hay vida en la Tierra**. Cuestiones que van también hacia el propio universo. Si pudiésemos verlo desde fuera..., ¿cuál sería la forma del universo? ¿Cuál es su tamaño? ¿Tenemos forma, siquiera, de llegar a aproximarnos a comprender su escala desde un diminuto mundo perdido en un punto cualquiera de este vasto cosmos? La respuesta es que, por sorprendente que parezca, quizá sí...

CAPÍTULO XI

EL COSMOS QUE NO PODEMOS VER

Intentar comprender el tamaño y la forma del universo, apostados en este pequeño planeta que gira incesante alrededor de una estrella del montón, **podría parecer una tarea imposible**. Una montaña demasiado grande que escalar. Quizá es la curiosidad innata del ser humano la que nos lleva a cuestionarnos incluso lo que, *a priori*, podría parecer imposible responder. A fin de cuentas, estamos dentro del universo. **Nunca hemos viajado a otro lugar más allá del Sistema Solar. No podemos ver el universo desde fuera.** Así que **¿cómo podríamos llegar a comprender siquiera cuál es la forma o el tamaño del universo?** Y lo que quizá sea aún más importante: **¿qué valor podría tener?** No es una mera curiosidad. **Comprender el tamaño y, especialmente, la forma del cosmos nos puede ayudar a entender su evolución presente y futura.**

El universo puede ser abierto o cerrado. Si es cerrado, quiere decir que **estaríamos ante un objeto con límites bien definidos**. Podemos imaginarlo como el equivalente de una esfera. **Si, por el contrario, es abierto, podría ser liso o curvado.** El satélite Planck intentó analizar cuál es la geometría del universo. Así, se llegó a la conclusión de que es plano. Al menos hasta donde nosotros podemos ver. ¿Significa eso que estamos ante un universo abierto y liso? No es tan sencillo, porque desconocemos cuál es el auténtico tamaño del universo. Imaginemos que fuésemos una hormiga en la superficie de la Tierra, que intentase, con sus limitados medios, concluir cuál es la forma del planeta. Hasta donde su vista alcanza, desde su perspectiva, todo es perfectamente plano. Nuestra hormiga, en este ejemplo, probablemente nunca llegaría a sospechar que el planeta es esférico.

Nuestro caso puede ser muy similar. **Quizá seamos hormigas intentando observar algo muchísimo más grande que nosotros.** Es posible que solo estemos viendo una ínfima parte del total del universo. Pero, para hablar con propiedad de este asunto, tendremos que introducir un concepto muy importante. **Hablamos de la forma del universo en cuatro dimensiones espaciales.** Sin embargo, estamos acostumbrados a tres dimensiones espaciales. **¿Dónde está esa cuarta dimensión?**

No hay un lugar al que podamos apuntar. Nuestro sistema de tres dimensiones, con las direcciones arriba-abajo, izquierda-derecha y adelante-detrás, cubre todo el espacio posible. No hay un lugar, por tanto, al que podamos dirigir nuestra atención para observar esa cuarta dimensión física.

De todas formas, sí **podemos hacernos una idea de cómo es.** Partamos de un punto. **Un simple**

punto. Si lo estiramos en una dirección, tenemos **una línea.** Es decir, le hemos dado una dimensión. Si ahora estiramos esas líneas en ángulos de 90°, obtenemos un cuadrado, su equivalente en dos dimensiones. Finalmente, si estiramos un cuadrado en dirección de 90° de todos sus vértices, obtenemos **un cubo.** El equivalente tridimensional del cuadrado.

El experimento, literalmente, **se terminaría aquí** porque somos incapaces de estirar el cubo en una dirección de 90° respecto a sus vértices. **Lo que sí podemos hacer,** y hacemos muy a menudo, **es una proyección.** En el proceso se pierde información, pero nos permite llevar objetos complejos a dimensiones más reducidas. **¿Alguna vez has dibujado un cubo en un papel?** A pesar de que todos los vértices de un cubo forman ángulos de 90° en tres dimensiones, en la representación en papel no es así. **Necesitamos perder parte de la información para poder representar ese cubo.**

Así que, por tanto, cabe suponer que **podemos hacer lo mismo y proyectar el equivalente de un cubo en cuatro dimensiones a nuestras tres dimensiones.** El resultado, de hecho, es algo que conocemos como **teseracto.** Es el equivalente, en cuatro dimensiones, de un cubo. **Su proyección en tres dimensiones es la de un cubo contenido dentro de otro cubo,** conectados entre sí. En el proceso hemos perdido información, pero eso **nos permite imaginar cómo son los objetos en cuatro dimensiones.** Aun así, es posible que sea complicado entender un mundo basado en más dimensiones de las que estamos acostumbrados a experimentar.

Aquí es donde entra en juego Edwin Abbott Abbott, un profesor y escritor inglés, de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, conocido por una obra en particular: *Planilandia: una novela de muchas dimensiones.* Una sátira matemática y una crítica a la sociedad de la época que narra las desventuras de los habitantes de **Planilandia, un mundo compuesto por solo dos dimensiones.**

Es una bella analogía. **Del mismo modo que no podemos apuntar a la cuarta dimensión, los habitantes de Planilandia son incapaces de apuntar a la tercera dimensión.** Para ellos, el concepto de arriba y abajo es **incomprensible.** Es un mundo completamente plano, compuesto solamente por el ancho y el largo. Son completamente ajenos a la tercera dimensión. Por más que lo intentásemos, serían incapaces de apuntar a ella.

¿Cómo vería una criatura tridimensional, como nosotros, ese mundo bidimensional? Es una experiencia tan extraña como fascinante. Con toda seguridad, inicialmente no seríamos conscientes de que estamos observando un mundo desde una perspectiva ajena a lo que solemos experimentar. **Vemos, a la vez, el exterior de su mundo y el interior de sus casas.** Así como las criaturas que viven en esas casas y, también, el interior de las propias criaturas.

Hasta cierto punto, podríamos decir que **tener una dimensión más nos da una visión de rayos X.** Podemos ver todo a la vez. **Además, los habitantes de Planilandia son incapaces de vernos.** Somos absolutamente imperceptibles para ellos. **Ni siquiera llegan a imaginar cómo podría ser una criatura tridimensional.**

Supongamos, **como hacía Carl Sagan en su serie documental Cosmos,** que **intentamos interactuar con esa criatura bidimensional.** Imaginemos que el cuadrado, tras un largo día, **llega**

a su casa bidimensional. Nosotros hacemos algo aparentemente inocuo, **le saludamos.** Quizá con un simple: «¡Hola, cuadrado!». **Para él,** sin embargo, **la experiencia no podría ser más desesperante.** Una voz estruendosa le saluda de repente. **Mire hacia donde mire, solo puede ver que está él solo en su casa, entre muros cerrados.** Lo más extraño es que **la voz parece proceder de su propio cuerpo.** Así que, con toda probabilidad, pensaría que su salud mental está deteriorándose. A fin de cuentas, ¿quién podría hablarle si está solo?

Hablarle más veces no va a mejorar las cosas, así que **decidimos descender al plano de Planilandia.** Para nosotros, seguramente, parece un plan brillante. Nos manifestaremos en Planilandia y no habrá ninguna duda de nuestra presencia. Demostraremos que no somos una alucinación y que el cuadrado está perfectamente, ¿verdad?

No obstante, **para el cuadrado, las cosas se vuelven aún más incomprensibles.** De repente, **ante sus ojos, aparecen objetos que cambian de forma constantemente.** Sin hacer ni tocar nada.

¿Por qué? **Es el resultado de la limitación de dimensiones.** En Planilandia solo existen objetos bidimensionales. Así que para el cuadrado es imposible ver una mano, por ejemplo. En su lugar, solo puede ver una pequeña sección de esa mano. La que coincide, en cada momento, con el plano de Planilandia. Explicando, de esta manera, esa rápida metamorfosis que el pobre morador de esa humilde casa ha presenciado.

Ante una observación así, completamente incapaz de comprender lo que ha pasado, **nuestro cuadrado pensaría,** con toda la razón aparentemente a su favor, **que está completamente loco.** De remate. Probablemente sin salvación alguna.

Nosotros, por el contrario, estamos dispuestos a demostrarle que no está loco. Así que decidimos pasar a una acción más directa. **Cogemos al cuadrado con nuestra mano, lo elevamos por encima del plano de Planilandia, y lo dejamos descender sobre el mundo de nuevo.**

Al principio, el cuadrado es incapaz de comprender qué es lo que está pasando. Sus sentidos son incapaces de entender qué es lo que ha sucedido y todo lo que ve le resulta extremadamente extraño. Al menos durante los primeros instantes. Porque, **poco a poco, comienza a reconocer detalles familiares.** Finalmente, es consciente de que está viendo Planilandia en su conjunto. Está viendo dentro de muros cerrados y en el exterior. **Toda Planilandia está ante su mirada.**

Los que ahora están desconcertados, sin embargo, son sus amigos. De repente, el cuadrado se materializa ante ellos. No le han visto llegar de ningún lugar pero está ahí, ante sus ojos. Donde antes no había nada, ahora está su amigo. ¿Cómo es posible? Ansiosos, le preguntan. El cuadrado intenta responder. Explica lo sucedido y cómo ha visto Planilandia en su conjunto. Dentro y fuera. Todo a la vez. Pero, **cuando le piden que señale hacia dónde está ese lugar, es incapaz de hacerlo. No puede apuntar hacia arriba o abajo.** Es una dimensión absolutamente desconocida e incomprensible para él. Por lo que no puede dar una respuesta satisfactoria a sus amigos.

Así que nuestro intento de interacción bidimensional fracasaría estrepitosamente..., salvo que

recurriéramos a una proyección. Podríamos mostrar nuestra propia proyección en dos dimensiones. Algo similar a enseñar nuestra sombra, del mismo modo que representamos un cubo en un papel, o un tesseracto en forma de objeto tridimensional.

Con esa proyección, nuestro cuadrado no sería capaz de comprender a la perfección qué somos, pero sí **podría hacerse una idea aproximada de cómo es una criatura tridimensional**. Podría, incluso, comprender cómo es su mundo con mucho mayor detalle de lo que pensaba antes de que sucediese tan fantástica historia.

Lo mismo sucede en nuestro caso con la forma del universo. Podría ser, por ejemplo, **finito pero ilimitado**. Como **una esfera que podemos recorrer constantemente sin llegar a ningún borde**. Una criatura bidimensional que recorriese su superficie nunca llegaría a imaginar cuál es la forma de la Tierra. Aun así, al volver al punto de partida, podría comprender que está sobre la superficie de un objeto que está curvado en una tercera dimensión.

Por tanto, **es posible que nuestro universo sea infinito en las tres dimensiones** que conocemos y con las que estamos familiarizados y, sin embargo, que sea un objeto **finito en esa cuarta dimensión**. También cabe la posibilidad de que sea un objeto que no exista en cuatro dimensiones, solo en las tres que experimentamos. **Descubrir cómo es en esa cuarta dimensión**, si es que la tiene, **nos ayudaría a comprender su posible evolución futura**. De ello dependería, por ejemplo, que se expandiera infinita e indefinidamente o que, por el contrario, terminara colapsando sobre sí mismo en un momento del futuro muy lejano.

En toda esta cuestión, no obstante, hemos dejado un factor no menos importante. **¿Cuál es el tamaño del universo?** Lo cierto es que **vivimos en una región muy específica a la que conocemos como el universo observable**. A decir verdad, casi siempre que hablamos del universo, lo que hacemos, en realidad, es referirnos al universo observable. **Una esfera con un diámetro aproximado de 90.000 millones de años-luz, con la Tierra en su centro. Delimita, literalmente, todo lo que podemos ver**. Su tamaño quizá te resulte sorprendente. Un radio de 45.000 millones de años-luz no parece corresponderse con un universo que tiene 13.800 millones de años. Sin embargo, no podemos olvidarnos del hecho de que el universo, desde sus inicios, está en expansión. No solo eso; esa expansión, además, está acelerando.

¿Cuánto porcentaje del universo representa el universo observable? Es difícil responder a la pregunta. **Si es infinito en extensión**, estamos ante una pregunta que no necesita respuesta. Ya que **no podríamos cuantificarlo**. Si, por el contrario, **resultase ser finito**, se han intentado hacer algunas estimaciones que plantean que el universo, en su conjunto, **podría medir 10^{23} años-luz**. En cuyo caso, **nuestro universo observable no sería más que una pequeña parte**, insignificante, de algo muchísimo más grande que no podemos ver en todo su conjunto. ¿Cuál es el tamaño exacto del universo en su conjunto? Sencillamente, no lo sabemos. El del **universo observable**, de todas formas, sí está bien definido.

Contiene desde los objetos más cercanos, como la vecina galaxia de Andrómeda, **hasta los más remotos**, incluyendo las primeras galaxias e incluso la radiación de fondo de microondas, la primera luz del universo. Sin embargo, **cuanto más lejos miramos en el universo, más lejos**

miramos en el pasado. De tal modo que lo que vemos es la luz que fue emitida en un momento muy lejano.

Si, de alguna manera, pudiésemos viajar instantáneamente a ese lugar del universo, veríamos que está en la misma fase de evolución que nuestro vecindario cósmico. No se trata de un lugar más joven. Simplemente **vemos la luz que comenzó su viaje, hacia el Sistema Solar, hace miles de millones de años.** Aunque podría parecer una desventaja, poder ver el pasado al mirar en la distancia nos permite comprender, también, cómo fueron los primeros momentos del universo.

Si bien es difícil hacer un cálculo exacto, **se estima que el universo observable contiene unos 200.000 millones de galaxias. Cada una de ellas, de media, contiene unos 200.000 millones de estrellas.** Es solo una media. La galaxia de Andrómeda, por ejemplo, se calcula que contiene un billón de estrellas.

En cualquier caso, sea como fuere, el universo observable es un término que podemos intercambiar con bastante libertad con el del universo en su conjunto. **Tenemos, incluso, una idea aproximada de cómo evolucionará en el futuro.** Nuestro universo observable seguirá expandiéndose a medida que el universo envejezca y, en consecuencia, **la luz de objetos, que aún no nos ha alcanzado, pueda llegar hasta nosotros.**

Sin embargo, **la expansión del universo provocará que muchos de esos objetos nunca lleguen a ser visibles.** Su luz viajará a menor velocidad que con la que se expande el cosmos entre nuestro punto y ese hipotético objeto. No solo eso. En el caso de los objetos más distantes, se calcula que en el futuro lejano también dejarán de ser visibles. Su luz, ya mucho más allá de nuestra esfera del universo observable, será incapaz de alcanzarnos en un universo en constante expansión.

Pero **¿qué provoca que esa expansión del universo esté acelerando?** Es uno de los grandes desafíos de la cosmología actual. **Todo lo que podemos ver a nuestro alrededor, las estrellas, las galaxias, los planetas, los seres vivos..., es producto de la materia normal.** Aun así, dentro del universo a gran escala, **supone menos del 5 % de su composición.** Todo lo que ves, hasta los confines del universo observable, no es ni la vigésima parte del universo. **El 95 % de la composición del universo nos es completamente invisible.**

Por un lado, tenemos **la materia oscura,** que supone algo más del 27 % del total del universo. Es un tipo de materia que, aunque no se ha podido comprobar que exista, **es necesaria para explicar,** por ejemplo, el hecho de **que una galaxia pueda mantenerse unida.** La gravedad de las estrellas que la componen no sería suficiente. Es decir, **sin la materia oscura, el universo no podría ser tal y como lo observamos.**

Aunque, en este caso, nuestro foco de atención está en algo llamado **energía oscura,** que supone el 68 % del universo y que resulta tremendamente enigmático. No solo porque **es la responsable de la aceleración de la expansión del universo.** También porque **su origen no está completamente claro.** ¿De dónde surge? Hay muchas hipótesis. Una de ellas es que se trata de una propiedad del espacio-tiempo vacío. Es decir, **a medida que se crea nuevo espacio entre**

nosotros y esos puntos remotos del universo, también se crea más energía oscura. En un proceso imparables que condena al universo a un proceso de expansión indefinido.

La energía oscura está también detrás de una de las confusiones más habituales entre aficionados a la astronomía. **Si nada puede viajar más rápido que la luz, ¿cómo es posible que esas galaxias distantes se alejen de nuestra posición más rápido que la luz?** Lo cierto es que **no hay nada que diga que el universo, en sí mismo, no pueda expandirse mucho más rápido que la luz.** No solo eso; desde nuestra perspectiva, podría parecer que esa galaxia distante que observamos se aleja mucho más rápido que la luz. Algo que debería ser imposible. Sin embargo, la velocidad propia de la galaxia, su movimiento a través del espacio, no es ni remotamente cercano a la velocidad de la luz.

¿Qué está pasando entonces? ¿Qué es lo que nos perdemos? Es la expansión del espacio que separa ambos puntos lo que sucede a una velocidad más grande que la de la luz. De tal modo que, **si pudiésemos viajar a esa galaxia de manera inmediata,** veríamos que su velocidad entra dentro de lo perfectamente normal y que, por contra, **sería la Vía Láctea la que parecería desplazarse a una velocidad superior a la de la luz.**

El papel de **la energía oscura también es importante en el destino del universo,** en función de su naturaleza, que todavía no comprendemos bien. La posibilidad más aceptada, como ya hemos visto, es la de **la muerte térmica del universo.** Es decir, que se expanda indefinidamente y llegue un momento en el que no haya más materia disponible para crear nuevas estrellas.

Hay otro escenario, **el Big Rip** (algo así como el Gran desgarramiento), en el que, si la energía oscura tiene ciertas propiedades, el propio cosmos se destruiría a sí mismo eventualmente. ¿Cómo? Tarde o temprano, llegaría un momento en el que incluso la distancia entre los átomos de las moléculas fuese demasiado grande para poder permanecer unidas. Por lo que **comprender la naturaleza de la energía oscura también nos ayudaría a comprender,** mucho mejor, **cuál puede ser la evolución del universo en el futuro lejano.** Todo esto nos deja con una última incógnita por desvelar.

Si el universo observable es solo una pequeña parte de un conjunto mucho más grande..., ¿qué hay más allá? No podemos viajar más allá del universo observable. A decir verdad, ni siquiera tenemos la tecnología para viajar a otros lugares de la Vía Láctea. Lo que sí **podemos suponer,** sin embargo, es **que el universo que no podemos ver no es diferente al que conocemos.** Es decir, contiene más galaxias, estrellas, planetas..., quizá incluso formas de vida. Suponiendo que el tamaño del universo sea finito, no tendríamos por qué encontrar un borde del universo. Pero, si fuese infinito, nos encontramos con cosas realmente llamativas. **Supongamos que el universo sea infinito en extensión.** Algo que no es ni mucho menos descabellado.

Lo que sí es finito son los tipos de átomos diferentes que componen el universo. Por lo que **hay una cantidad finita de posibles combinaciones de esos átomos.** Imaginemos que estamos en un campo de fútbol. Nos dan tres cubos, cada uno de un color: rojo, azul y verde. Después, nos piden que llenemos la superficie del campo de fútbol sin intentar repetir el orden de los colores. Por desgracia, con tres colores no hay muchas combinaciones posibles antes de que, de nuevo,

tengamos que recurrir a la secuencia de rojo, azul y verde.

Lo mismo sucede si lo aplicamos a un universo infinito. **Tarde o temprano**, por fuerza, **tendremos que repetir combinaciones**. Eso nos lleva a concluir que, por tanto, **en algún lugar**, a una distancia inimaginablemente grande, muchísimo más allá de los límites del universo observable, **deberíamos ver lo mismo que vemos aquí**. Una réplica del Sistema Solar. Quizá con ligeras diferencias. Pero en todos los sentidos una copia.

Es un hilo de pensamiento que nos lleva a lugares extremadamente complejos. Porque podríamos concluir que, por tanto, en algún lugar de ese vasto universo invisible, hay otro planeta Tierra, habitado por seres humanos. Entre ellos, quizá, también haya incluso una repetición de nosotros mismos. En realidad, si el universo es infinito en extensión, no estaremos solo ante una copia. Si no ante infinitas copias, porque esas posibles combinaciones de átomos se producirán infinitas veces. **Es un panorama que plantea muchas cuestiones**, particularmente desde un punto de vista más filosófico.

En términos prácticos, de todas formas, no tiene ningún efecto palpable en nuestras vidas ni en nuestro conocimiento. Aunque pudiésemos verificar sin ningún género de duda que el universo es infinito, todo está tan lejos que nunca llegaremos a entrar en contacto con esas posibles réplicas de nuestro Sistema Solar. Estamos completamente aislados de esa realidad. Si es que existe.

Para poder llegar a esas regiones remotas del universo, mucho más lejos de lo que podemos observar, **sería necesario recurrir a alguna solución exótica**, como los agujeros de gusano. No tenemos forma alguna de cubrir grandes distancias en el espacio sin acercarnos a la velocidad de la luz. Tampoco tenemos la tecnología para pensar en ello. Quizá en un futuro lejano, con una comprensión mucho mayor del cosmos, este tipo de viajes sean extremadamente sencillos y el concepto del universo observable sea muy diferente al del propio universo.

Hay que recordar, también, que **el universo no tiene un centro**. A pesar de que el universo observable es una esfera en la que la Tierra está en el centro. **Cada lugar del universo tiene su propio universo observable**. Si comparamos el nuestro con el de Andrómeda, las diferencias entre lo que podemos ver en el universo observable desde un lugar y otro será mínima. Porque 2,5 millones de años-luz, en la escala cósmica, es poco.

Sin embargo, si comparamos el universo observable que vemos desde la Tierra con el de una galaxia muy remota a, por ejemplo, 5.000 millones de años-luz, entonces sí veremos diferencias mucho más notables. Parte del universo observable que podemos ver desde ambos puntos nos será completamente familiar y común. De todas formas, desde la Tierra habrá objetos que podemos ver que no son visibles desde esa galaxia. Y, del mismo modo, desde esa galaxia será posible ver regiones del universo que no podemos ver desde nuestro planeta.

Esto, aun así, no pone a ninguno de los dos sitios en el centro del universo. Imaginemos que solo podemos caminar por la superficie de un globo. ¿Tendría sentido preguntar qué lugar está en el centro de esa superficie que vemos? Sería una pregunta irrelevante, porque el centro del globo no está en ningún punto de su superficie. Está en su interior. La misma analogía la podemos aplicar

al propio universo para explicar que no haya un centro o que, como se dice habitualmente, el Big Bang sucediese en todos los puntos del cosmos.

Con todo esto, encaramos ya la recta final de nuestro viaje por el cosmos. Hemos recorrido el universo desde sus lugares más remotos. Hemos visitado este pequeño lugar al que llamamos Sistema Solar. Hemos repasado su historia, su pasado, su presente y su posible futuro. También hemos reflexionado sobre cómo surgió la vida en la Tierra y la posibilidad de que pueda haberla en otros lugares de este sistema planetario y de la galaxia.

Hemos hablado de la vida inteligente, de su búsqueda lejos de nuestro planeta, y del nacimiento y la muerte de estrellas, así como de algunos de los objetos más extremos que podemos encontrar, como los agujeros negros o las estrellas de neutrones. Podríamos decir que hemos dado un buen repaso al universo en que vivimos. Así que no encuentro mejor manera de terminar nuestro viaje que con una pregunta que nos llevará lejos de nuestro cosmos. **¿Por qué este universo es tan hospitalario para la vida?** Partamos en busca de otros universos...

CAPÍTULO XII

UN UNIVERSO DE UNIVERSOS

La posibilidad de que existan otros universos puede resultar, *a priori*, desconcertante. Nuestra mente tiene dificultades para imaginar y comprender la extensión del cosmos en el que vivimos. Por lo que intentar añadir otros a la ecuación solo hace que las dificultades se vuelvan todavía mayores. Sin embargo, **son los propios detalles de la naturaleza los que nos empujan a considerar la idea**, por extravagante que pueda parecer, de que quizá el nuestro no sea el único universo.

Reflexionemos sobre las leyes fundamentales de la naturaleza por un momento. **¿Por qué la velocidad de la luz es, precisamente, 299.792 kilómetros por segundo?** ¿Por qué no 86.418? ¿O por qué no 60 kilómetros por hora? **La misma pregunta es extensible al resto de fuerzas fundamentales.** No solo eso; **la relación entre todas es la que permite**, en gran parte, **que podamos existir.** Nuestro universo es hospitalario para la vida. De otro modo, no estaríamos aquí.

Imaginemos que, ante nosotros, hubiese una máquina con diferentes diales que pudiéramos ajustar. Cada uno de ellos nos permitiría alterar los valores de esas fuerzas fundamentales. **Sería extraordinariamente sencillo crear un universo que fuera incompatible con la vida** que tan bien conocemos. Podríamos hacer que la fuerza de la gravedad fuese tan intensa que, simplemente, un universo no pudiese llegar a experimentar un Big Bang. O que, si lo experimentase, colapsase tan rápido sobre sí mismo que no llegase a experimentar el nacimiento de sus primeras estrellas.

Del mismo modo, podemos crear un universo en el que los átomos no sean lo suficientemente fuertes para mantenerse unidos. Algo que nos da como resultado, de nuevo, un cosmos incompatible con la vida. Esta sencilla observación podría llevarnos a caer en la tentación de identificarlo con la señal del trabajo de un creador. **Si esos valores son tan perfectos..., ¿cómo podrían ser arbitrarios?** De todas formas, **no es necesario invocar una inteligencia ni un diseño específico** para explicar que, en el universo, las leyes fundamentales tengan esos valores en particular.

La conclusión más lógica, de hecho, es que todos esos universos deben de existir igualmente. Una sucesión de universos, quizá infinita, con realidades completamente diferentes a la nuestra. Algunos incapaces de llegar a experimentar un Big Bang. Otros destinados a colapsar sobre sí mismos antes de que la vida pueda llegar a contemplarlo y maravillarse. Otros, como el nuestro, quizá nunca lleguen a colapsar sobre sí mismos. Pero, a diferencia del nuestro, son incapaces de permitir que se desarrolle la vida. **Las posibilidades son casi interminables...** en todos los sentidos.

Porque en ese multiverso, en ese universo de universos, **también debería haber otros cosmos que fueran perfectamente compatibles con la vida.** Es razonable, por tanto, pensar que podría haber otras criaturas inteligentes, en otros universos, haciéndose preguntas muy similares a las nuestras.

El mayor obstáculo ante estas preguntas descansa, sin embargo, en la propia naturaleza. No parece haber forma alguna de verificar si existen otros universos. De hecho, **¿qué es lo que sabemos realmente sobre el multiverso?** Todo lo que conocemos es a nivel teórico. **¿Ni siquiera estamos seguros de si realmente existe!**

Si existiese, ¿sería infinito? La respuesta puede ser tanto que sí como que no. ¿Es eterno en su conjunto aunque sus universos individuales puedan tener fecha de caducidad? También desconocemos esa respuesta, a pesar de que podríamos hacer conjeturas en todas las direcciones para cubrir todas las posibilidades. Dicho de otro modo, **el multiverso nos permite ser como un pintor ante un lienzo blanco esperando ser ilustrado.** La mayoría de posibilidades que podamos plantear tendrán validez de una manera u otra...

La cuestión ni siquiera es nueva. **La posibilidad de que existan otros universos** (aunque en la cultura popular se los suele llamar dimensiones) **es una cuestión que la filosofía ha afrontado durante siglos.** Ahora, no obstante, **tenemos la posibilidad de enfrentarnos a un asunto tan complejo con las herramientas que nos proporciona la propia ciencia.**

La primera pregunta, probablemente, es **¿cómo es posible que puedan existir otros universos?** Hay varias posibilidades que resultan interesantes, tanto por su planteamiento como por sus posibles implicaciones. Así, por ejemplo, **nos encontramos con una posible explicación en el Big Bang.** Como vimos anteriormente, en un momento dado, el cosmos pasó de tener un tamaño minúsculo, inferior al de un átomo, a ser gigantesco. Ese impulso se produjo gracias a algo llamado **campo de inflatón.** Podemos entenderlo, si lo deseamos, como **una especie de combustible que alimentó el crecimiento del universo.** Es la propia física la que nos dice que **ese campo de inflatón no pudo agotarse por completo en la expansión de nuestro universo.** Debíó de alimentar la expansión de otros universos y bien podría seguir haciéndolo hoy en día.

Es solo un ejemplo que nos permitiría explicar la existencia de otros universos, pero no el único. Ya hemos visto que en este campo de la ciencia tenemos **dos puntos en particular en los que nos encontramos con algo llamado singularidad.** Una singularidad nos indica, simplemente, que la ciencia tal y como la conocemos deja de funcionar. En ambos casos, la lectura viene a ser similar. Se trata de dos puntos pequeñísimos con una densidad elevada: la singularidad del Big Bang y la del centro de un agujero negro, que hemos visto en varias ocasiones a lo largo del libro.

Podrían parecer dos conceptos completamente inconexos. Pero **¿y si en realidad uno fuese la sucesión de otro?** Es decir, ¿y si la singularidad de un agujero negro fuese el paso previo al Big Bang de un nuevo universo? **Esto querría decir que nuestro cosmos nació a partir del agujero negro de un universo anterior.** Y que, en consecuencia, otros universos nacerán, también, a partir de los agujeros negros que podemos encontrar en el nuestro.

Este planteamiento, en particular, **nos presentaría un multiverso repleto de universos**, posiblemente infinito, si tenemos en cuenta la cantidad de agujeros negros presentes en el cosmos. Estaríamos ante una amalgama de universos.

La teoría de cuerdas, como ya hemos visto, también nos invitaba a considerar la posibilidad de que cada una de esas dimensiones adicionales sean las que definan el valor de las fuerzas fundamentales del cosmos. De tal modo que cada uno de los diferentes universos que existan tendrán diferentes valores.

Si optamos por esta interpretación, parecería razonable suponer que esos universos estarían compuestos por la misma cantidad de dimensiones que el nuestro. Aunque quizá no sea así. Al no poder experimentar de manera directa con el universo, no podemos saber si es así.

Estas son las ideas más ancladas en la realidad. Por decirlo de alguna manera. Con esto, lo que intento ilustrar es que son métodos que, a partir de cosas verificadas por la ciencia (como la existencia del Big Bang o los agujeros negros) o con una base muy fundamentada (la posibilidad de que la teoría de cuerdas sea correcta), nos permiten hacer diferentes suposiciones.

Sin salirnos de la ciencia, **tenemos también posibilidades que pueden resultar un tanto más extravagantes.** Una de ellas es que **el universo en que vivimos fuese**, por ilustrarlo de alguna manera, como **una hoja de papel flotando en mitad de una sala.** Junto a ella, **flotan también otras hojas de papel.** Ocasionalmente, entran en contacto y se crea una tercera hoja. Es decir, **el contacto de esas dos hojas provoca un Big Bang que da lugar al nacimiento de un nuevo universo.**

Esta hipótesis, al igual que las anteriores, nos deja incógnitas como cuál fue, en ese caso, el primer universo que existió. Tampoco nos permite enfrentarnos a las grandes preguntas que nos plantea la cosmología. **¿Cómo se creó el universo?** (o el primer universo suponiendo que hubiese un multiverso). **¿Cómo se formaron la materia y la energía que lo componen?** No son preguntas sencillas. **Aunque, si de algún modo pudiésemos demostrar la existencia de otros universos, cabe la posibilidad de que esta fuese una cuestión algo más sencilla de responder.**

Aprovechemos este hilo de pensamiento de las hojas que flotan en una sala. Si fuese así, y la colisión entre dos universos diese nacimiento a un tercero, ¿no es razonable suponer que **debería haber un lugar del universo que podamos interpretar como la cicatriz de un momento tan violento?** No es, ni mucho menos, una idea descabellada.

Algunos cosmólogos han considerado la posibilidad de que realmente fuese así. **La radiación de fondo**, la luz más antigua del universo, tiene la particularidad de presentar una región que conocemos popularmente como **la Gran Mancha Fría.** Su temperatura es, en realidad, solo unos microkelvin más baja que la del resto de la radiación de fondo. Pero su presencia es lo suficientemente desconcertante para no estar completamente seguros de por qué está ahí. **¿Cuál es su significado?** ¿Es la consecuencia de algún fenómeno que tuvo lugar en los primeros inicios del universo? El planteamiento, en este caso, es que **podríamos estar observando la cicatriz de la**

colisión que dio lugar a nuestro universo.

Es una hipótesis muy sugerente porque estaríamos ante algo que sí podemos verificar. La radiación de fondo ha sido objeto de numerosos estudios. Lo seguirá siendo en el futuro. Por lo que nos encontramos ante lo que nos podría dar respuesta a una de las preguntas más enigmáticas de la ciencia moderna. Sin embargo, **no hay nada que nos permita apuntar con solidez en la dirección de la colisión entre universos. No está muy claro cuál es el origen de la Gran Mancha Fría**, pero los estudios se han sucedido. Así, **se ha descartado la posibilidad de que se trate de un supervacío**. Es decir, una región del universo que esté casi vacía de galaxias. Al contrario, parece ser completamente normal cuando la comparamos con otros lugares del universo conocido.

También **se ha planteado la posibilidad de que esa diferencia de temperatura podría ser, simplemente, una anomalía provocada naturalmente**. Pero las simulaciones llevadas a cabo por diversos investigadores concluyen que **la posibilidad de que, de manera natural, la radiación de fondo presente una región con una temperatura inferior es muy baja**. Las dos explicaciones más probables no sirven para darnos una solución satisfactoria. Y esto es lo que nos permite considerar ideas más exóticas.

Por ahora, tenemos mucha imaginación, muchas hipótesis, y **muy pocas respuestas. Es posible que nunca lleguemos a saber si realmente existen otros universos**. Quizá sea una limitación a la que no queremos enfrentarnos. O puede que necesitemos que nuestra tecnología se desarrolle mucho más de lo que podemos imaginar para comenzar a entender la naturaleza del universo. Puede que esa cuestión, así como otras planteadas por la cosmología, sea simplemente una pregunta sin respuesta. **La única forma de saberlo será seguir haciéndose preguntas**.

Debemos recordar que **nuestra tecnología todavía tiene un largo camino por delante**. Aunque podemos estudiar los sistemas alrededor de otras estrellas, no tenemos forma alguna de viajar hasta ellas para analizar sus mundos de manera directa. Nuestra tecnología no es suficiente, todavía, para enviar una tripulación a Marte con garantías de que vaya a sobrevivir. Todavía se está trabajando en ese objetivo para lograrlo hacia la década de 2030.

Eso hablando de nuestro Sistema Solar. No estamos planteando viajar a alguna estrella distante. Ahora mismo, la posibilidad de enviar una nave a Próxima Centauri, la estrella más cercana, sigue pareciendo increíblemente remota. Por lo que pensar en estudiar los límites del cosmos, de manera directa, es una tarea a todas luces imposible. Ni siquiera estamos seguros de si podríamos llegar a hacerlo, al tener en cuenta limitaciones como la velocidad de la luz y el hecho de que el universo se expande más rápido. Dicho de otra manera, es posible que, aunque confirmásemos la existencia de otros universos, no tengamos la forma de estudiarlos. Por lo menos no de forma directa.

Algo que podría impedirnos, por poner un ejemplo, descubrir si sus fuerzas fundamentales tienen unos valores similares a los nuestros o, por el contrario, son totalmente diferentes. Tampoco nos permitiría saber si hay vida en esos universos...

Por si todo esto no sonase lo suficientemente complicado, **nos queda una variable más que debemos considerar: ¿Cuál es el tamaño de otros universos?** ¿Podría haber universos más grandes que el nuestro? ¿Y más pequeños? No son preguntas retóricas. No solo podemos imaginar un multiverso formado por universos con una escala similar al nuestro, sino con tamaños muy diferentes. Si bien, es cierto que esto necesitaría que el universo sea finito. Si lo fuese, entonces podríamos plantear diferentes escenarios que resultan intrigantes.

Quizá los átomos que componen nuestro universo sean, a su vez, universos en miniatura. En una sucesión infinita hacia universos más pequeños. Del mismo modo, por supuesto, **también podemos imaginar universos más grandes, siendo el nuestro tan solo un átomo de ese universo más grande.** Las posibilidades, cuando comenzamos a explorar esta idea, son ilimitadas. Quizá haya universos infinitos en extensión dentro de universos perfectamente finitos. ¿Suenan enrevesado? No lo es tanto si hacemos la siguiente consideración...

Supongamos que existen otros universos. En este caso, además, vamos a suponer que el multiverso es finito y que, por tanto, tenemos una cantidad concreta de universos. **En algunos de esos universos podemos suponer que debería haber vida.** Parece razonable suponer que, por fuerza, **habrá tanto vida menos desarrollada que nosotros como civilizaciones muchísimo más inteligentes y con una tecnología incomprensible. Una tecnología tan desarrollada que les permita llevar a cabo sus propias simulaciones de universos enteros.**

En cierto modo, no sería algo muy diferente a ejecutar un universo en nuestro ordenador. En la actualidad, en el sector de los videojuegos hay muchos títulos que mantienen mundos virtuales enteros en funcionamiento durante años. Simulan mundos de una manera muy limitada, por supuesto. No aspiran a ser simulaciones de un universo ni de todos sus posibles seres vivos. Pero, si nosotros podemos hacer algo así con nuestra, sin duda, limitada tecnología, **¿es descabellado pensar que una sociedad mucho más avanzada, con una tecnología mucho más compleja, no podría simular universos completos?**

Además, en ese caso, ¿debemos distinguir entre universos virtuales y reales si ambos son idénticos en todos sus aspectos, más allá de que uno esté siendo simulado dentro del otro? O quizá sea necesario formular la pregunta de otra manera, **¿somos capaces de afirmar que nuestro universo no es, simplemente, la simulación en el ordenador de alguna criatura inteligente de un universo real?** Por extraño que pueda parecer, **es una pregunta que algunos científicos se han planteado en diferentes ocasiones.** No hay una respuesta enteramente satisfactoria en este sentido. A decir verdad, si realmente viviésemos en un universo simulado, probablemente sería imposible obtener esa respuesta. O, de obtenerla, quizá fuese simplemente una simulación de la respuesta que esperásemos querer encontrar.

Es decir, ¿por qué no podría un universo simulado hacernos creer que es perfectamente real para que no seamos conscientes de ello? En última instancia, **en cualquier caso, es posible que sea una pregunta irrelevante.** En particular si no somos capaces de discernir entre una posibilidad u otra. **Nuestra existencia, y la del universo, es real. En el sentido de que estamos aquí y podemos percibirla.** Si su naturaleza fuese simulada, ¿haría menos real el hecho de que existimos? Como quizá hayas notado, **estas preguntas escapan de lo meramente científico y**

entran en un campo completamente diferente al que estamos acostumbrados a tratar. Más que cuestiones científicas, **nos encontramos ante cuestiones filosóficas.** Esas cuestiones pueden tener muchas respuestas y, curiosamente, todas ellas podrían ser válidas desde el punto de vista apropiado.

En cualquier caso, volvamos al multiverso más tradicional. Es decir, dejemos a un lado la posibilidad de que pudiésemos vivir en un universo simulado. Así como la idea de que podría haber universos más grandes o pequeños que el nuestro. Vamos a centrarnos, únicamente, en que podría haber otros universos en una escala similar al nuestro. ¿Su existencia nos impactaría de alguna manera? A corto plazo, no. Es necesario comprender que vivimos en un universo joven. **A pesar de tener 13.800 millones de años, el cosmos todavía está en las primeras etapas de su evolución y desarrollo.** Las estrellas y planetas seguirán naciendo durante miles de millones de años. **Algunas enanas rojas brillarán durante billones de años.**

El posible final del universo es tan distante que, para una mente humana, es difícil ponerlo en perspectiva. Incluso la propia edad del universo es una porción insignificante frente al tiempo necesario para que llegue un momento en el que ya no se formen nuevas estrellas.

Pero supongamos que las civilizaciones logran perdurar hasta esos últimos instantes del universo. Por tanto, llegan a vivir en un momento en el que el cosmos ya no tendrá la energía suficiente para sostenerlos. En un momento tan complicado, **solo habrá una opción válida para una civilización muy avanzada: escapar a otro universo,** más joven, con más energía, en el que puedan continuar sus vidas.

Por lo que, aunque parece un marco más propio de la fantasía que de la ciencia, por su extrema lejanía, **el valor del multiverso se pone en alza.** Bien podría permitir a una civilización, de un futuro tremendamente lejano, seguir existiendo más allá de la vida de este cosmos. Sin embargo, **¿cómo alcanzar esos otros universos? La única posibilidad está en los agujeros de gusano.**

Como ya hemos visto, un agujero de gusano puede conectar dos puntos de un mismo universo o, quizá, dos universos diferentes. La teoría de la relatividad dice que su existencia es posible siempre y cuando haya algún tipo de material exótico que podamos utilizar para mantenerlos abiertos. ¿Qué tipo de material? No hay ninguno que ahora mismo encaje en ese perfil. Pero quizá sea algo que se nos escape, simplemente, porque nuestro conocimiento todavía sea demasiado limitado. Con ese material exótico, podría ser posible mantener un agujero de gusano abierto.

Esto ya nos lleva a otras consideraciones más complicadas. **¿Podemos elegir hacia qué universo, suponiendo que exista más de uno, nos llevaría ese agujero de gusano?** Y, además, ¿podemos esperar que ese universo sea lo suficientemente parecido al nuestro para ser compatible con la vida? Porque, en caso contrario, no servirá de mucho el disponer de un agujero de gusano con el que poder viajar a otros universos cuando llegue el momento de abandonar este.

El multiverso nos plantea un enigma para el que apenas podemos comenzar a ofrecer respuestas. **Nuestra comprensión del cosmos está en constante desarrollo.** Quizá nunca

lleguemos a saber si realmente existen otros universos. O, por el contrario, es posible que la Gran Mancha Fría resulte ser la cicatriz de una colisión con otro cosmos... La única forma de encontrar la respuesta a estas, y muchas otras cuestiones, será por medio de la ciencia.

EPÍLOGO

Hemos llegado al final de nuestro viaje por el cosmos. Desde la tranquilidad de la lectura de estas páginas, hemos dejado que nuestra mente viajase, siempre acompañada por la ciencia, hasta los confines más remotos del universo y de nuestro conocimiento. Hemos sido testigos del nacimiento del universo. De la formación del Sistema Solar, e incluso, como diría Carl Sagan, de la pequeña canica azul en la que vivimos.

La existencia del ser humano, dentro de la larga vida del universo, dura apenas lo que un suspiro. **Somos recién llegados, con muchas preguntas y pocas respuestas** (aunque cada vez más), fruto del aparentemente inalterable ciclo de las estrellas. Somos hijos de este universo extrañamente acogedor. **Somos hijos de estrellas que murieron miles de millones de años antes de que nuestro Sistema Solar llegase a nacer.**

A pesar de su inmensa vastedad, y nuestra aparente insignificancia, somos parte de ese cosmos al que, en alguna ocasión, todos hemos alzado la vista. **¿Quién no ha observado las estrellas alguna vez?** Quizá preguntándose si, en ese punto de luz distante, podría haber algún tipo de vida inteligente que nos estuviese observando. **Somos exploradores y curiosos por naturaleza.** Nuestros antepasados descubrieron los confines de nuestro planeta. De polo a polo. **Solo nos quedan dos metas muy diferentes: las profundidades de los océanos y el espacio exterior.**

Un día, el ser humano abandonará esta cuna a la que llamamos Tierra, con su inconfundible Luna en el firmamento. Una compañera silenciosa que ha sido testigo de algunas de nuestras hazañas más sorprendentes. Como la llegada del ser humano a su superficie en 1969... y en cinco ocasiones más. Para ello, sin embargo, **primero deberemos aprender a ser mejores seres humanos.** Necesitamos comprender nuestro impacto no solo en el entorno en el que vivimos, sino en el planeta en sí mismo... y en nuestros congéneres.

Somos el resultado de los que vinieron antes que nosotros. Es nuestra responsabilidad asegurar que aquellos que vengan después tengan un mundo mejor del que recibimos. No solo por nosotros mismos. Tampoco por ellos. Sino por el ser humano y el maravilloso don de la vida. Vivimos en tiempos complejos... ¿Y quién no? Nuestros antepasados más remotos tuvieron que hacer frente, simplemente, a sobrevivir ante los peligros de la naturaleza. Nuestros abuelos, a la crueldad de las guerras. Ahora, **sobre nuestros hombros, recae otra tarea no menos compleja: detener el cambio climático y hacer que nuestra sociedad sea un poco más justa para todos.**

Así como también establecer los cimientos de la futura expansión del ser humano más allá

de nuestro planeta natal. No es un simple deseo. **Es una necesidad.** Si queremos que la humanidad pueda sobrevivir, necesitaremos expandir nuestra presencia a otros lugares. Primero del Sistema Solar. Después, de otros lugares de la Vía Láctea. Por suerte, **tenemos las herramientas para comenzar a construir todas estas cosas.** Estamos viviendo los primeros, y apasionantes, pasos para que un ser humano pueda poner sus pies en Marte. **El planeta rojo, con toda probabilidad, será una de las primeras paradas en nuestra necesidad de colonizar otros mundos.**

Tarde o temprano, llegará el día en el que los seres humanos compartirán otros firmamentos. No solo el de la Tierra, también el de lugares como Marte o, quizá, el extraño y fascinante paisaje de una estación orbital, dando vueltas en el espacio alrededor de nuestro planeta. Todo eso es, tecnológicamente hablando, posible. Pero **dependerá de nosotros mismos lograrlo o fracasar en el cometido.** Porque, **a pesar de nuestra aparente sabiduría, todavía somos como un infante** que no es plenamente consciente de que puede alterar el mundo con las herramientas que se le han dado.

Si nos olvidamos de que estamos aquí, fantaseando con la posibilidad de viajar a Marte, o de construir una base en la Luna, es gracias al camino que iniciaron los que llegaron antes que nosotros. Es un camino que comenzó hace mucho tiempo y que no tiene un final aparente. Siempre y cuando queramos reconocer que podemos hacerlo tan complejo como para que nunca lleguemos a completarlo. **La Tierra es mucho más duradera y robusta que nosotros.** Sería un error pensar que amenazas como el cambio climático supondrían un peligro para el planeta. **La Tierra prevalecerá. Con o sin nosotros.**

La pelota está en nuestro tejado. **Como dijo Isaac Newton, si podemos ver más lejos es porque estamos a hombros de gigantes.** Es desde esos hombros desde donde podremos alcanzar las estrellas para que el ser humano nunca deje de hacerse preguntas...

**¿Cómo de grande es el universo? ¿Podremos algún día viajar a otras estrellas? ¿Qué es un agujero negro?
¡Descúbrelo con este libro!**



¿Alguna vez has levantado la vista al cielo en una noche estrellada y te has dejado llevar por la imaginación? Igual en ese momento te has trasladado a mundos que van más allá de lo que podemos imaginar en la Tierra. Algunos con vida, puede que inteligente, y otros completamente inhóspitos e infernales. O quizá simplemente te has preguntado cuántas estrellas hay en la Vía Láctea.

Si alguna vez te has hecho alguna de estas preguntas, este libro es para ti. **De la mano de Alex Riveiro, creador de *Astrobitácora*, el blog de referencia de astronomía en español.**

SOBRE EL AUTOR

Álex Riveiro. Divulgador y escritor de ciencia ficción, es el autor del blog *Astrobitácora* y, a través de hilos en Twitter, trata temas de astronomía para todos los públicos. Es el autor de la saga *Ecos de un futuro distante*.

www.astrobitacora.com

[@alex_riveiro](https://twitter.com/alex_riveiro)

© 2019, Álex Riveiro
© 2019, Penguin Random House Grupo Editorial, S. A. U.
Travessera de Gràcia, 47-49. 08021 Barcelona

ISBN ebook: 978-84-204-3420-9
Diseño de cubierta: Judith Sendra / Penguin Random House Grupo Editorial
Ilustración de cubierta: Gervasio Troche
Conversión ebook: Javier Barbado

Penguin Random House Grupo Editorial apoya la protección del *copyright*.
El *copyright* estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Gracias por comprar una edición autorizada de este libro y por respetar las leyes del *copyright* al no reproducir, escanear ni distribuir ninguna parte de esta obra por ningún medio sin permiso. Al hacerlo está respaldando a los autores y permitiendo que PRHGE continúe publicando libros para todos los lectores. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, <http://www.cedro.org>) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

www.megustaleer.com

Penguin
Random House
Grupo Editorial

megustaleer

Descubre tu próxima lectura

Apúntate y recibirás
recomendaciones de lecturas
personalizadas.

ME APUNTO



@megustaleerebooks



@megustaleer



@megustaleer

ÍNDICE

[Hacia las estrellas](#)

[Cita](#)

[Prólogo](#)

[Capítulo I. Un universo incommensurablemente grande](#)

[Capítulo II. Una estrella cualquiera en una galaxia cualquiera](#)

[Capítulo III. El escriba del cosmos](#)

[Capítulo IV. El despertar de un átomo](#)

[Capítulo V. La soledad de una civilización inteligente](#)

[Capítulo VI. ¿Quién escucha a la Tierra?](#)

[Capítulo VII. La sinfonía de la vida](#)

[Capítulo VIII. La prisión de la luz](#)

[Capítulo IX. Las barreras del cosmos](#)

[Capítulo X. La llave maestra del universo](#)

[Capítulo XI. El cosmos que no podemos ver](#)

[Capítulo XII. Un universo de universos](#)

[Epílogo](#)

[Sobre este libro](#)

[Sobre el autor](#)

[Créditos](#)