







La gran historia de todo

Desde el Big Bang  a las primeras estrellas, nuestro sistema solar, la vida en la Tierra, los dinosaurios,  el *Homo*  *sapiens*,  la agricultura, la Edad de Hielo,  los imperios, los combustibles fósiles, el alunizaje y la globalización  masiva. Y lo que el futuro nos depara...

David Christian

CRÍTICA

DAVID CHRISTIAN

LA GRAN HISTORIA DE TODO

Una gran historia desde el Big Bang a las primeras estrellas, nuestro sistema solar, la vida en la Tierra, los dinosaurios, el *Homo sapiens*, la agricultura, la Edad de Hielo, los imperios, los combustibles fósiles, el alunizaje y la globalización masiva. Y lo que el futuro nos depara...

Traducción castellana de
Tomás Fernández Aúz

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: marzo de 2019

La gran historia de todo

Desde el Big Bang a las primeras estrellas, nuestro sistema solar, la vida en la Tierra, los dinosaurios, el Homo sapiens, la agricultura, la Edad de Hielo, los imperios, los combustibles fósiles, el alunizaje y la globalización masiva. Y lo que el futuro nos depara...

David Christian

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra. Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Título original: *Origin Story. A Big History of Everything*

© 2018 by David Christian. All rights reserved.

© de la traducción, Tomás Fernández Aúz, 2019

© Editorial Planeta S. A., 2019
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9199-085-7
Depósito legal: B. 3956 - 2019
2019. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas S. A.

El papel utilizado para la impresión de este libro es 100% libre de cloro y está calificado como papel ecológico.

Capítulo 1

EN EL PRINCIPIO: UMBRAL 1

«Para crear de la nada una tarta de manzana primero hay que inventar el universo.»

Carl Sagan, *Cosmos*

«Así debe haber sido después del nacimiento de la sencilla luz primera,
En aquel original rueda en el que los caballos, hechizados, abandonaban a paso lento el cálido refugio
Del establo verde entre ecos de relinchos,
Hacia los benditos campos.»

Dylan Thomas, «Fern Hill»

LA HISTORIA DE LOS ORÍGENES ARRANCA A EMPUJONES

Si existe alguna tarea imposible es practicar *bootstrapping*: levantarse uno mismo por los aires tirando muy, pero que muy fuerte, de nuestras propias botas. Esta idea entró en la jerga informática (a través de términos como *booting*, «iniciar», o *rebooting*, «reiniciar») como respuesta a la necesidad de describir la forma en que los ordenadores se levantan de entre los muertos y proceden a cargar las instrucciones que precisan para saber qué pasos deben dar a continuación. Como es obvio, en sentido literal levantarse a uno mismo de ese modo es imposi-

ble, pues para elevar algo hay que disponer de un punto en que afianzarse. «Dadme una palanca y un punto de apoyo y moveré el mundo», afirmó en su día el filósofo griego Arquímedes. Ahora bien, ¿dónde pudo apoyarse la creación de un nuevo universo? ¿Cómo se «inicia» un universo? O si se prefiere: ¿cuál es el punto de partida de la historia de los orígenes que refiere el surgimiento de dicho universo?

El trabajoso inicio, y desde cero, de todas las historias de los orígenes resulta casi tan complejo como la inicialización de los universos, y ambas cosas son comparables al ejercicio del *bootstrapping*. Una de las posibles formas de abordar la cuestión consiste en hacer desaparecer el problema del «comienzo de todo» y asumir que el universo siempre ha estado ahí. De ese modo no se necesita ningún *bootstrapping*. Son muchas las historias de los orígenes que han optado por esta opción. Y lo mismo puede decirse de la mayoría de los astrónomos contemporáneos, incluidos los que a mediados del siglo xx defendían la teoría de la creación continua. Este planteamiento sostiene que, a gran escala, el universo siempre ha tenido el mismo aspecto que hoy. Muy parecida, con sutiles diferencias, es la idea de que sí hubo un instante de creación marcado por la presencia de grandes fuerzas o seres sobrenaturales dedicados a recorrer el infinito creando cosas, pero que desde entonces no se han producido cambios dignos de mención. Es posible que los ancianos del lago Mungo concibieran de este modo el universo y que sostuvieran que, una vez fraguado —por obra de sus antepasados—, el cosmos adquirió una forma muy parecida a la actual. Isaac Newton consideraba que Dios era la «causa primera» de todas las cosas y que su poder se hallaba presente en la totalidad del espacio. Esto explica que Newton pensara que el conjunto del universo no había experimentado excesivas transformaciones. En una ocasión escribió que el universo era «el aparato sensorial de un Ser incorpóreo, vivo e inteligente».¹ A principios del siglo xx, Einstein estaba tan convencido de que a gran escala el universo era invariable que añadió a su teoría de la relatividad una constante para que predijera la estabilidad del universo.

¿Puede considerarse satisfactoria esta idea de un universo eterno e inalterable? La verdad es que no, sobre todo cuando es preciso introducir subrepticamente un creador que arranque el proceso, como en la fórmula: «En el principio era la nada, y entonces Dios hizo...». Es ob-

vio que hay aquí un gazapo lógico, aunque en ocasiones algunas mentes privilegiadas hayan necesitado recorrer un largo camino para comprenderlo con claridad. A los dieciocho años, Bertrand Russell desechó la idea de un dios creador tras leer el siguiente pasaje en la autobiografía de John Stuart Mill: «Mi padre me enseñó que no es posible responder a la pregunta “¿Quién me hizo?”, dado que la propia interrogante sugiere enseguida esta otra: ¿Quién hizo a Dios?».²

Pero no acaban aquí las incógnitas. Si hay un dios lo bastante poderoso como para concebir y crear un universo, es evidente que ese dios ha de ser necesariamente más complejo que el universo, lo que significa que suponer la existencia de un dios creador equivale a explicar la realidad de un universo de formidable complejidad imaginando la existencia de algo todavía más complejo que se habría limitado a crear el universo a partir de la nada. Alguien podría pensar que esto es hacer trampas.

Los antiguos himnos hindúes que conocemos con el nombre de Vedas se cubren las espaldas: «No había entonces ni existencia ni no-existencia; y tampoco había espacio ni firmamento más allá de él».³ Quizá todo surgiera de una tensión primordial entre el ser y el no-ser, un tenebroso ámbito que no era algo pero podía llegar a serlo. O tal vez debamos concluir, como sostiene un moderno dicho de los aborígenes australianos, que nada es una nada total.⁴ Es una idea un tanto delicada, y hay quien podría considerarla confusa y un poco mística si no fuese porque tiene un asombroso paralelismo con la noción contemporánea, muy arraigada en la física cuántica, de que el espacio nunca se encuentra enteramente vacío, sino repleto de posibilidades.

¿Existe una especie de océano de energía o de sucesos potenciales del que emergen, un poco al modo de las olas o los tsunamis, toda una serie de formas particulares? Este concepto es tan habitual y está tan extendido que resulta tentador pensar que las ideas que elaboramos sobre las causas últimas del comienzo del mundo proceden de nuestras propias experiencias. De hecho, todas las mañanas experimentamos cómo de lo que parece un universo caótico e inconsciente surge un mundo consciente con formas, sensaciones y estructuras. Joseph Campbell explica en uno de sus libros: «Del mismo modo que la conciencia del individuo flota en un océano de oscuridad, a cuyas profundidades desciende con el sueño y del que misteriosamente sale al despertar, en

el imaginario mítico el universo brota impetuosamente de una intemporalidad en la que no solo descansa, sino a la que, llegado el momento, regresará para al fin disolverse». ⁵

Quizá todo esto resulte excesivamente metafísico. Tal vez la dificultad es de tipo lógico. Stephen Hawking argumentaba que la cuestión del origen es una pregunta mal planteada. Si la geometría del espacio-tiempo es esférica, como sucede en el caso de la Tierra, si bien con más dimensiones, entonces toda interrogación que pretenda averiguar qué existía antes del universo equivale a tratar de hallar el punto de partida de la superficie de una pelota de tenis. Las cosas no funcionan así. El tiempo no tiene un comienzo, del mismo modo que tampoco lo tiene la superficie de la Tierra. ⁶

Algunos cosmólogos se sienten atraídos en la actualidad por otro grupo de conceptos que nos retrotraen a la idea de un universo sin principio ni fin. Puede que nuestro universo forme parte de un multiverso infinito en el que constantemente se producen Big Bangs de los que surgen nuevos universos. Eso podría ser cierto, pero hasta el momento no se ha hallado ninguna prueba concluyente de que haya existido un solo Big Bang anterior al nuestro. Todo ocurre como si la creación de nuestro universo hubiese sido tan violenta que cualquier información sobre la realidad que le dio origen hubiera quedado totalmente borrada. Si existen otras aldeas cosmológicas, hasta ahora no hemos sido capaces de observarlas.

Para ser francos, en la actualidad las respuestas que damos al problema del comienzo originario del cosmos no son mejores que las de cualquiera de las sociedades humanas que nos precedieron. La idea de una «inicialización» del universo sigue presentando todo el aspecto de una paradoja, tanto desde el punto de vista lógico como metafísico. No sabemos cómo fueron las condiciones Ricitos de Oro que permitieron el surgimiento del universo, y tampoco estamos en disposición de explicar esa aparición mejor de lo que lo hizo el novelista Terry Pratchett cuando escribió: «El estado actual del conocimiento puede resumirse de este modo: En el principio no había nada, y luego explotó». ⁷

UMBRAL 1: LA INICIALIZACIÓN CUÁNTICA DEL UNIVERSO

La forma de inicialización más ampliamente aceptada en la actualidad es la resumida en la idea del Big Bang. Esta teoría es uno de los principales paradigmas de la ciencia contemporánea, comparable a la noción de selección natural en biología o a la tectónica de placas en geología.⁸

Hasta principios de la década de 1960 no empezaron a aparecer las piezas maestras del relato basado en el Big Bang. Tales piezas empezaron a encajar cuando los astrónomos detectaron por primera vez la radiación de fondo de microondas, es decir, la energía residual que dejó el Big Bang, que todavía se halla presente en todas partes en el universo de nuestros días. Aunque los cosmólogos aún tienen grandes dificultades para comprender en qué momento surgió nuestro universo, lo cierto es que eso no les impide ofrecer un apasionante relato cuyo comienzo se produjo (respiren hondo, la cifra no es pequeña —y solo espero saber expresarla con exactitud—) nada menos que una mil millonésima parte de una mil millonésima parte de una mil millonésima parte de una mil millonésima parte de una mil millonésima parte del primer segundo posterior a la aparición del universo (es decir, unos 10^{-43} segundos después del instante cero).

En pocas palabras, la narrativa cosmológica puede resumirse del siguiente modo: en su inicio, nuestro universo era un simple punto, más pequeño que un átomo. Esto significa que tenía un tamaño diminuto, pero ¿hasta qué punto? La evolución de la mente de nuestra especie la ha capacitado para trabajar con objetos adaptados a la escala humana, así que nos resulta muy difícil manejar dimensiones minúsculas, aunque tal vez sirva de ayuda saber que en el punto ortográfico que remata esta frase cabría nada menos que un millón de átomos.⁹ En el instante en que se produjo el Big Bang, el volumen del conjunto del universo era inferior al de un átomo. En su interior se hallaba contenida toda la energía y la materia que se halla presente en el cosmos actual. Toda. Es una idea formidable, capaz de intimidar a cualquiera, y a primera vista incluso un poco descabellada. Sin embargo, todas las pruebas de que disponemos hasta ahora indican que hace unos 13.820 millones de años ese extraño e ínfimo corpúsculo, de temperatura colosalmente elevada, existió.

Todavía no comprendemos cómo y por qué apareció ese objeto, pero la física cuántica nos dice —y los aceleradores de partículas (que imprimen altísimas velocidades a las entidades subatómicas mediante la aplicación de campos eléctricos o electromagnéticos) nos muestran— que en el vacío es efectivamente posible que de la nada surja algo, aunque la comprensión de esta afirmación exija disponer de una definición muy compleja de la noción de «nada». En la física cuántica moderna resulta imposible determinar de forma precisa la posición y el movimiento de las partículas subatómicas. Esto significa que no hay modo de saber con certeza si una determinada región del espacio está o no vacía, lo que a su vez implica que la vacuidad contiene en sí la posibilidad de que surja algo en ella. Como ya vimos que sucedía con la «falta de existencia y de no-existencia» de los Vedas hindúes, esta tensión parece haber sido la responsable de la inicialización de nuestro universo.¹⁰

En la actualidad, damos a ese primer instante de vida del universo el nombre de Big Bang, asimilando ese surgimiento al de un bebé recién venido al mundo, como si al nacer el cosmos hubiera gritado con fuerza. Esta sugerente expresión la acuñó en 1949 el astrónomo inglés Fred Hoyle, quien estaba convencido de que era una idea ridícula. A principios de la década de 1930, cuando comenzó a hablarse de una gran explosión, el astrónomo belga (y sacerdote católico) Georges Lemaître decidió denominar «huevo cósmico» o «átomo primordial» al universo neonato. Los escasos científicos que se tomaron en serio semejante ocurrencia estaban convencidos de que, si albergaba tantísima energía comprimida en su interior, ese átomo primordial debía tener una temperatura inconcebiblemente alta y tenía que haber experimentado una violentísima expansión para liberar toda esa presión. De hecho, la expansión prosigue en nuestros días; como un inmenso muelle que llevara más de trece mil millones de años distendiéndose.

En los segundos y minutos inmediatamente posteriores al Big Bang ocurrieron muchísimas cosas, la más importante de las cuales fue la aparición de las primeras estructuras y pautas interesantes, entidades o energías primordiales con formas y propiedades distintivas no aleatorias. La aparición de algo con cualidades nuevas es siempre mágico. En la historia moderna de los orígenes asistiremos a menudo a este tipo de acontecimientos prodigiosos, pero lo que en un primer momento

parece admirable puede resultarlo menos en cuanto comprendemos que tanto el objeto nuevo como sus novedosas cualidades no han salido de la nada. Las cosas nuevas con propiedades hasta entonces desconocidas nacen de cosas que el universo ya contenía y de fuerzas previamente existentes ordenadas de forma original. Es esa nueva organización lo que genera el surgimiento de las propiedades inéditas, del mismo modo que la imagen de los mosaicos puede modificarse con un simple cambio en la disposición de las mismas teselas. Tomemos el ejemplo de la química. Por regla general tendemos a representar el hidrógeno y el oxígeno como gases incoloros, pero si unimos dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno y los configuramos de un determinado modo obtenemos una molécula de agua. Y si reunimos un gran número de moléculas de ese tipo nos encontraremos frente a una cualidad enteramente nueva que llamamos «acuosa». Cada vez que percibimos una forma o una estructura nuevas dotadas de cualidades igualmente novedosas, lo que en realidad estamos percibiendo es un modo nuevo de organizar cosas preexistentes. La innovación es la emergencia. Y si nos hacemos a la idea de que la emergencia es uno de los personajes clave de nuestra narrativa, es muy probable que le descubramos una personalidad provocativa, misteriosa e impredecible, es decir, el tipo de carácter de quien muestra una clara tendencia a surgir inesperadamente de un rincón oscuro para imprimir al argumento un giro nuevo y sorprendente.

Las primeras estructuras y pautas del universo surgieron precisamente de ese modo, debido a que los objetos y las fuerzas que saltaron de pronto a la palestra como consecuencia del Big Bang se ordenaron de forma nueva y dieron lugar a configuraciones también desconocidas hasta entonces.

En el primer instante que nos ha dejado alguna prueba de su existencia —el surgido apenas una fracción de segundo después del Big Bang—, el universo era una masa de energía pura, aleatoria, indiferenciada y amorfa. Cabría concebir la energía como aquella «potencialidad para que algo suceda», o dicho de otro modo: como la capacidad de hacer o transformar cosas. El átomo primordial contenía una cantidad de energía formidable, ya que su temperatura era de varios millones de grados por encima del cero absoluto. Hubo un primer breve período de expansión enormemente acelerada conocido como «inflación». Esa

expansión fue tan rápida que una buena parte del universo pudo salir proyectada a una distancia inmensa, tan grande que jamás alcanzaremos a verla. Esto significa que cuanto hoy vemos probablemente no es más que una mínima parte del universo.

Una fracción de segundo después, la expansión se ralentizó. Las turbulentas energías del Big Bang empezaron a asentarse, y a medida que la expansión progresaba el magma energético fue dispersándose hasta acabar por diluirse. Las temperaturas medias del cosmos disminuyeron, y se inició así un descenso que se ha mantenido hasta hoy, de modo que en la actualidad la mayor parte del universo apenas supera en 2,76 grados Celsius el cero absoluto. (Llamamos «cero absoluto» a aquella temperatura en la que no hay corpúsculo que muestre la más mínima agitación.) Si no percibimos ese frío glacial es porque contamos con el calor que nos proporciona el sol, que es como la hoguera de campamento que caldea nuestra galaxia.

Las temperaturas extremas del Big Bang tenían la capacidad potencial de materializar prácticamente cualquier cosa. Sin embargo, cuando el termómetro cayó esas posibilidades se redujeron. En la caótica neblina de ese rápido proceso de enfriamiento comenzaron a emerger, como siluetas espectrales, toda una serie de entidades cuyo denominador común era no haber encontrado condiciones de existencia en la arrebatada marmita de la propio Big Bang. Los científicos dan a estos cambios de forma y estructura el nombre de «transiciones de fase». En la vida cotidiana podemos asistir a estas transiciones de fase, por ejemplo, cuando el vapor pierde energía y se convierte en agua (cuyas moléculas se mueven muchísimo menos que las de su versión vaporizada), o al observar el agua transformada en hielo (cuya energía es tan baja que sus moléculas apenas muestran actividad y permanecen casi inertes). El agua y el hielo solo pueden existir como tales en una estrecha franja de temperaturas muy bajas.

Transcurrida la mil millonésima parte de la mil millonésima parte de la mil millonésima parte de la mil millonésima parte del primer segundo posterior al Big Bang, la energía misma experimentó una transición de fase, puesto que se escindió y dio lugar a cuatro clases de energía totalmente diferentes. En nuestros días conocemos estos cuatro tipos de energía con los nombres de fuerza gravitatoria, fuerza electromagnética, fuerza nuclear fuerte y fuerza nuclear débil. Conviene fa-

miliarizarse con sus distintas personalidades porque son las que moldean nuestro universo. La gravedad es poco intensa, pero es capaz de salvar enormes distancias. Además, tiende siempre a atraer las cosas entre sí, de manera que su fuerza se acumula y, bajo sus efectos, el universo tiende a agrandarse. La energía electromagnética puede presentarse en forma negativa o positiva, de modo que a menudo se anula a sí misma. Pese a su escasa fuerza, la gravedad es quien se encarga de configurar el universo a gran escala. Sin embargo, en los planos de la química y la biología, lo que predomina es el electromagnetismo, así que puede decirse que este último es el que mantiene la cohesión y la integridad de nuestros organismos. Las tercera y cuarta energías fundamentales reciben el poco estimulante nombre de fuerzas nucleares fuerte y débil. Operan a distancias ínfimas, así que su importancia se revela a escala subatómica. Los seres humanos no las percibimos ni experimentamos de manera directa, pero conforman todos los aspectos de nuestro mundo porque determinan qué sucede en las más recónditas profundidades del átomo.

Es posible que existan otros tipos de energía. En la década de 1990, tras realizar nuevas mediciones del índice de expansión del universo, los científicos advirtieron que esa dilatación continúa su curso. En la actualidad, y tomando como base una idea propuesta por Einstein, muchos físicos y astrónomos empiezan a argumentar que quizá haya un tipo de fuerza antigravitatoria presente en la totalidad del espacio y que, dada su naturaleza, su potencia se incrementa con la expansión cósmica. En nuestros días, la masa de esa energía podría representar nada menos que el 70% de la totalidad de la del universo. No obstante, y por más que esté empezando a dominar el cosmos, todavía no alcanzamos a comprender en qué consiste dicha energía ni cómo funciona, así que los físicos la denominan «energía oscura». Este término es en realidad un espacio libre que deberá rellenarse cuando se despeje la incógnita. Pero conviene no perder de vista ese hueco destinado a futuras certezas porque la comprensión de la energía oscura es uno de los mayores desafíos de la ciencia contemporánea.

La materia apareció antes de transcurrido un segundo desde el Big Bang. La materia es todo aquello que la energía moviliza o traslada de un sitio a otro. Hasta hace apenas un siglo, tanto los científicos como los filósofos consideraban la materia y la energía como cosas diferen-

tes, pero hoy sabemos que en realidad la materia es una forma de energía altamente comprimida. Ya de muy joven Albert Einstein demostró este extremo en un célebre artículo que publicó en 1905. La fórmula que allí expuso —la energía (E) es igual a la masa (m) multiplicada por la velocidad de la luz (c) al cuadrado (o lo que es lo mismo: $E = mc^2$)— nos indica cuánta energía se encuentra comprimida en el interior de una determinada cantidad de materia. Para hacernos una idea de cuánta energía contiene una pequeña porción de materia no basta con multiplicar la masa de esa materia por la velocidad de la luz (superior a mil millones de kilómetros por hora), sino por la velocidad de la luz multiplicada por sí misma. Esto arroja una cifra colosal, de modo que si descomprimos un minúsculo trozo de materia, lo que se obtiene es una cantidad de energía enorme. Esto es precisamente lo que sucede cuando estalla una bomba de hidrógeno. En el universo primitivo se produjo exactamente lo contrario. En el principio había una enorme cantidad de energía comprimida en minúsculos volúmenes de materia, como motas de polvo en una inmensa bruma de energía. Resulta asombroso que los humanos hayamos logrado recrear esas energías durante un breve período de tiempo, en el Gran Colisionador de Hadrones instalado en las inmediaciones de Ginebra. Y sí, gracias a ello hemos podido comprobar que empiezan a surgir partículas de ese hirviente océano de energía.

Y todavía no hemos pasado del primer segundo...

LAS PRIMERAS ESTRUCTURAS

En el interior de esta caótica bruma de energía surgida inmediatamente después del Big Bang empezaron a aparecer diversas formas y estructuras. Aunque la niebla de energía no se disipara, los elementos que brotaron de su interior nos proporcionaron la forma y la trama de nuestra historia de los orígenes. Entre esas disposiciones o pautas corpusculares las había llamadas a perdurar miles de millones de años y otras de existencia efímera, reducida a una simple fracción de segundo, pero ninguna de ellas se ha conservado. Son invariablemente evanescentes, como olas en la superficie de los mares. La primera ley de la termodinámica nos dice que ese océano de energía sigue presente, que

se mantiene. Y al mismo tiempo, la segunda ley de la termodinámica nos indica que todas las formas que puedan surgir, sean cuales sean, acabarán disolviéndose en el océano de energía del que brotaron. Esas formas, como los movimientos de una danza, no se conservan.

En el primer segundo tras el Big Bang irrumpen en el universo diferentes estructuras y formas. Pero ¿por qué? ¿Por qué no es el universo un simple flujo aleatorio de energía? Esa es una pregunta fundamental.

Si nuestra historia de los orígenes incluyera a un dios creador, sería muy fácil explicar todas esas estructuras. Podríamos limitarnos a suponer (como hacen muchas historias de los orígenes) que ese dios prefirió la organización al caos. Aun así, la mayoría de las versiones sobre los orígenes no aceptan ya la idea de un dios creador porque la ciencia contemporánea no ha encontrado ninguna prueba directa de su existencia. Muchas personas han experimentado o percibido a los distintos dioses, pero los relatos de esas revelaciones no solo son diversas y contradictorias, sino que no hay forma de reproducirlas a voluntad. Son tan maleables, difusas y subjetivas que no hay manera de utilizarlas como base probatoria científica y objetivable.

Por consiguiente, la historia moderna de los orígenes debe encontrar otras formas de explicar la aparición de formas y estructuras. Y no resulta fácil, dado que la segunda ley de la termodinámica nos confirma que, antes o después, todas esas estructuras acabarán por desaparecer. Así lo expresaba el físico austríaco Erwin Schrödinger: «Reconocemos ahora que esta ley fundamental de la física no es más que la tendencia natural de las cosas a acercarse al estado caótico (la misma tendencia que presentan los libros de una biblioteca o las pilas de papeles y manuscritos sobre un escritorio), a menos que nosotros lo evitemos».¹¹

Si algún personaje malvado hay en la narrativa de la historia moderna de los orígenes sin duda ha de ser la entropía, esa tendencia en apariencia inherente de las estructuras a disolverse en lo aleatorio. Sin embargo, la entropía es la leal servidora de la segunda ley de la termodinámica. Por consiguiente, si consideramos a la entropía uno de los personajes de nuestro relato, debemos imaginarla como licenciosa, acechante, indiferente al dolor ajeno e incapaz de mirar de frente. La entropía es también extremadamente peligrosa, pues al final acabará

con todos. La entropía adquiere el máximo protagonismo en la apoteosis final de cualquier historia de los orígenes. Será ella quien se encargue de disolver la totalidad de las estructuras existentes, dé carpetazo a todas las formas, a todas las estrellas y las galaxias, y al conjunto de las células vivas. En un libro sobre mitología, Joseph Campbell describió el papel de la entropía en unos términos marcadamente poéticos: «Al mundo que conocemos [...] solo le aguarda un final definido por la muerte, la desintegración, el desmembramiento y la crucifixión de nuestros corazones, pues así de dolorosa habrá de revelarse la transitoriedad de las formas que hemos amado». ¹²

La ciencia moderna explica el papel de la entropía con el frío lenguaje de la estadística. La inmensa mayoría de la miríada de disposiciones que pueden adoptar las cosas carece de estructura y presenta un aspecto aleatorio y desordenado. En la mayor parte de los casos, el cambio es algo así como tomar un mazo de 10^{80} naipes (es decir, un 10 seguido de 80 ceros, lo que equivale aproximadamente al número de átomos que contiene el universo), y barajarlo una y otra vez con la esperanza de acabar encontrando juntos todos los ases. Eso constituye una pauta de rareza inconcebible, tanto que ni siquiera una persona que estuviera barajando las cartas durante un período de tiempo equivalente a varias veces la edad del universo lograría verla realizada. En la mayor parte de los casos el resultado serían estructuras muy débiles o inexistentes. Si hacemos explotar una bomba en el solar de un inmueble en construcción repleto de ladrillos, argamasa, cables y pintura, ¿qué probabilidades hay de que, al disiparse la nube de polvo, nos encontremos de pronto frente a un edificio de apartamentos con la instalación eléctrica perfectamente cableada y los pisos bien decorados y listos para acoger a sus compradores? El mundo de la magia puede hacer caso omiso de la entropía, pero el nuestro no. Por eso la mayor parte del universo, y muy en particular el inmenso espacio vacío que media entre las galaxias, carece de forma y de estructura.

Tanto poder tiene la entropía que no es fácil entender cómo pudo aparecer alguna estructura. Y aun así, sabemos que surgieron y todo parece indicar que su aparición contó con el permiso de la entropía. Es como si, a cambio de permitir que los objetos se unieran para constituir estructuras de mayor complejidad, la entropía hubiera impuesto una suerte de tributo a la complejidad, pagadero en energía. De hecho, ten-

dremos ocasión de ver que, a lo largo del tiempo, la entropía ha gravado la complejidad con una gran variedad de tasas, actuando en ese sentido un poco a la manera del emperador Pedro el Grande, que creó un gabinete gubernamental específicamente dedicado a concebir nuevas contribuciones. A la entropía le encanta este pacto tácito, pues el conjunto de los cánones que satisfacen todas las entidades complejas contribuye a la funesta tarea entrópica de hacer papilla al universo. El solo acto de abonar las cargas fiscales de la entropía incrementa el caos y los deshechos, tal como sucede con la gestión de las ciudades modernas, cuyo funcionamiento produce un enorme volumen de basura y calor. Todos pagamos los impuestos de la entropía cada segundo de nuestras vidas. Y solo dejaremos de ser contribuyentes netos el día en que desaparezcamos.

¿Cómo surgieron entonces las primeras estructuras? Este es un problema que la ciencia todavía no puede responder de forma cabal, pero abundan ideas prometedoras.

Además de la energía y la materia, el Big Bang engendró unas cuantas reglas operativas básicas. Hubo que esperar a la revolución científica del siglo XVII para que los científicos comenzaran a comprender lo fundamentales que eran esas normas que, en la actualidad, llamamos «leyes fundamentales de la física». Son patrones fijos que explican por qué las frenéticas y caóticas energías del átomo primordial no carecen por completo de orientación: las leyes de la física encauzaron los cambios por una serie de vericuetos muy concretos, y al mismo tiempo cerraron el paso a una gama de posibilidades alternativas prácticamente infinita. Esas mismas leyes actuaron como un filtro e impidieron la materialización de todos aquellos estados del universo incompatibles con sus principios, de modo que en un corte temporal cualquiera, el universo existió en solo uno de los muchos estados compatibles con las normas operativas del cosmos. Y esos nuevos estados, a su vez, generaron nuevas reglas que orientaron el cambio por cauces igualmente inéditos.

Esta constante labor de filtrado de los estados imposibles garantiza la aparición de un mínimo de estructuras. No sabemos por qué surgieron esas leyes fundamentales de la física ni qué pudo determinar que adoptaran las formas que hoy conocemos. Ni siquiera estamos en condiciones de afirmar si esas leyes eran inevitables o no. Quizá existan

otros universos provistos de reglas generales ligeramente diferentes. Tal vez haya universos en los que la gravedad sea más intensa o en los que el electromagnetismo no tenga tanta fuerza. En tal caso, los habitantes de esos universos (caso de haberlos) habrán elaborado una historia de los orígenes totalmente distinta. Es incluso posible que la duración de algunos universos se limitara a una millonésima de segundo, y también pudiera darse el caso de que otros estén llamados a perdurar mucho más tiempo que el nuestro. Tal vez haya universos capaces de generar un gran número de formas de vida exóticas y otros que sean meros cementerios biológicos. Si nuestro universo existe en un multiverso, nada nos impide imaginar que en el momento de su creación se arrojaron unos dados auténticamente soberbios y se hizo la siguiente proclamación: «Vale, habrá gravedad en este universo, y también regirá el electromagnetismo, pero la intensidad de este último deberá ser 10^{36} veces superior a la de la primera». (Ya que esa es efectivamente la relación de fuerzas que media entre la gravedad y el electromagnetismo, al menos en nuestro universo.) La existencia de estas normas garantiza que nuestro universo no será jamás totalmente caótico. Así se asegura que algo interesante acabe por surgir siempre en alguna parte.

En cuanto aparecieron las diversas formas de energía empezaron a formarse estructuras y patrones. Y cuando la energía se condensó y generó las primeras partículas de materia, también estas se regían por normas. Pocos segundos después del Big Bang aparecieron los neutrones, los protones y los electrones, es decir, los elementos constitutivos básicos de los átomos, y lo mismo puede afirmarse de las antipartículas protónicas y electrónicas (o lo que es lo mismo, los antiprotones —protones de carga negativa— y los antielectrones —electrones cargados positivamente—). Así se formó lo que los físicos denominan «materia» y «antimateria». Al desplomarse los grados del universo por debajo del rango de temperaturas en que es posible la creación de materia y antimateria se produjo una especie de violenta competición destructiva a escala universal, y como consecuencia de ella la materia y la antimateria se aniquilaron mutuamente, desprendiendo una inmensa cantidad de energía. Por fortuna para los seres humanos, un minúsculo volumen extra de materia (reducido quizá a una de cada mil millones de partículas) sobrevivió a la degollina. Las partículas de materia que quedaron permanecieron fijas donde estaban debido a que en muy

poco tiempo las temperaturas descendieron tanto que imposibilitaron que volvieran a transformarse en energía pura. Y esos corpúsculos remanentes son los que integran hoy la totalidad de nuestro universo.

Con el descenso de las temperaturas, la materia se diversificó. Los electrones y los neutrinos se vieron dominados por el electromagnetismo y la fuerza nuclear débil. Los protones y los neutrones que forman los núcleos atómicos estaban constituidos a su vez por tríos de extrañas partículas conocidas con el nombre de «cuarks», sólidamente unidos por la fuerza nuclear fuerte. Electrones, neutrones, cuarks, protones, neutrinos..., apenas unos segundos después del Big Bang, el universo, sometido a un rápido proceso de enfriamiento, había logrado fijar ya unas cuantas estructuras concretas, dotadas cada una de sus particulares propiedades emergentes. Sin embargo, al amainar la violencia del huracán desatado por el Big Bang, las energías extremadamente intensas que habían sido necesarias para provocar el surgimiento de esas estructuras primordiales se desvanecieron, y esa es la razón de que las diferentes formas de energía y las diversas partículas (los protones y los electrones, por ejemplo) nos parezcan poco menos que inmortales.

Y así fue como el azar y la necesidad se unieron para dar lugar a las primeras estructuras simples. Las leyes de la física habían actuado a la manera de un tamiz y eliminado un gran número de posibilidades (ese fue el papel de la necesidad). Pero después el azar, valiéndose del potencial creativo que le permitía el número y el tipo de materia remanente, reorganizó las cosas aleatoriamente. Así funcionan todas las cosas. Como ha escrito el especialista en nanofísica Peter Hoffmann: «Atemperado por las leyes físicas, que añaden una pizca de necesidad a la mezcla, el azar se transforma en la fuerza creativa del universo, en el pez gordo que transfigura el cosmos. Toda la belleza que vemos a nuestro alrededor, de las galaxias a los girasoles, es el resultado de esta colaboración generativa entre el caos y la necesidad».¹³

LOS PRIMEROS ÁTOMOS

Pocos minutos después del Big Bang, de la unión de protones y neutrones surgieron más estructuras. El núcleo del átomo de hidrógeno se constituyó con un solo protón. El átomo de helio se formó a partir

un par de protones (con dos neutrones). El universo empezaba así a fabricar sus primeros átomos. Ahora bien, la fusión de protones exige una gran cantidad de energía, dado que sus respectivas cargas positivas hacen que se repelan mutuamente. Y como las temperaturas del cosmos habían empezado a descender a toda velocidad justo después del Big Bang, pronto resultó imposible continuar uniendo protones para constituir el núcleo de otros átomos de mayor tamaño. Esto explica uno de los aspectos fundamentales de nuestro universo, a saber, que casi tres cuartas partes del total de átomos que contiene sean de hidrógeno, y que la mayor parte de los restantes sean de helio.

Otra inmensa cantidad de materia era «materia oscura», de la que aún no comprendemos la naturaleza pero sabemos que existe porque su fuerza gravitatoria es lo que determina la estructura y distribución de las galaxias. Por consiguiente, pocos minutos después del Big Bang nuestro universo se hallaba compuesto por una vasta sucesión de nubes de materia oscura y de crepitantes plasmas de protones y electrones incrustados en su masa e iluminados por los chispazos de los fotones que los atravesaban. En la actualidad solo pueden encontrarse esa clase de plasmas en el centro de las estrellas.

Detengámonos un instante y aguardemos pacientemente unos 380.000 años (el doble de tiempo que nuestra especie lleva sobre la superficie de la Tierra). Durante este tiempo, el universo continuó enfriándose. Cuando las temperaturas descendieron por debajo de los diez mil grados Celsius se produjo una nueva transición de fase, como ocurre, según hemos señalado, cuando el vapor se convierte en líquido. Para explicar esta transición de fase debemos tener en cuenta que el calor es en realidad una expresión del grado de movilidad de los átomos. Todas las partículas de materia se agitan enérgicamente sin cesar, como chiquillos hiperactivos, y la temperatura es *de facto* el valor medio de esa vibración. Las rápidas sacudidas a las que me refiero no son en modo alguno metafóricas, sino perfectamente objetivas. En un famoso artículo publicado en 1905, Einstein mostró que las oscilaciones de los átomos son lo que provoca la rotación aleatoria de las partículas de polvo suspendidas en el aire. Cuando la temperatura baja, las partículas se agitan menos, y llega un momento en el que pueden unirse. Cuando el universo se enfrió, la fuerza electromagnética atrajo a los electrones de carga negativa hacia los protones de signo

eléctrico positivo hasta que el convulsivo movimiento de los primeros se calmó lo suficiente como para empezar a orbitar en torno a los segundos. ¡Y ya está! ¡Al fin tenemos formados los átomos primigenios, es decir, los ladrillos básicos que constituyen la totalidad de la materia que nos rodea!

En condiciones normales, los átomos aislados son eléctricamente neutros, pues las cargas positivas y negativas de sus protones y sus electrones se compensan unas a otras. Por consiguiente, al formarse los primeros átomos de hidrógeno y helio la mayor parte de la materia del universo se convirtió de pronto en neutra, así que el chispeante plasma se evaporó. A partir de ese momento, los fotones, que son los vectores en los que viaja la fuerza electromagnética, quedaron en condiciones de fluir libremente y de recorrer la neblina de átomos y materia oscura que integraba el cosmos, dado que la totalidad de esa bruma había pasado a ser neutra desde el punto de vista eléctrico. En la actualidad, los astrónomos pueden detectar las consecuencias de esa transición de fase porque, debido a su energía, los fotones que escaparon del plasma generaron, una especie de suave murmullo en segundo plano (la radiación de fondo de microondas) que todavía puede oírse en todo el universo.

Nuestra historia de los orígenes traspasa así su primer umbral. Tenemos un universo. Cuenta ya con algunas estructuras dotadas de un conjunto de propiedades emergentes y características. Este cosmos posee además diferentes formas de energía y de materia, cada una de ellas provista de una personalidad propia. Contiene también un gran número de átomos. Y dispone de unas normas operativas inherentemente suyas.

¿CON QUÉ PRUEBAS CONTAMOS?

Por extraño que pueda parecer este relato cuando lo escuchamos por primera vez, conviene tomárselo en serio porque lo sustenta un inmenso volumen de pruebas.

La primera pista que indicó a los científicos que el Big Bang se había producido realmente surgió al descubrirse que el universo se está expandiendo. Y si hoy continúa dilatándose, la lógica señala que en

algún momento de un pasado muy, muy remoto debió de ser de una pequeñez infinitesimal. Sabemos que el universo está en expansión porque disponemos de una serie de instrumentos y de técnicas de observación desconocidas para las gentes del lago Mungo, aunque no cabe duda de que eran capaces de reconocer a simple vista muchas de las constelaciones y grupos estelares del firmamento, lo que de hecho nos invita a considerarlos como consumados astrónomos.

Desde los tiempos de Isaac Newton, la mayoría de astrónomos han supuesto que el universo ha de ser infinito, pues de lo contrario las leyes de la gravedad habrían aglomerado la totalidad de cuanto contiene en una única masa viscosa, como un grumo de grasa en un sumidero. A mediados del siglo XIX, los astrónomos contaban ya con instrumentos lo suficientemente precisos como para empezar a cartografiar la distribución de las estrellas y las galaxias, y los mapas celestes que trazaron mostraban una imagen del universo muy distinta a la que se había tenido hasta entonces.

Estos mapas celestes empezaron siendo grupos de nebulosas borrosas y manchas desdibujadas que aparecían en todos los mapas de estrellas. (Hoy sabemos que la mayor parte de las nebulosas están formadas por galaxias enteras, y que estas a su vez contienen miles de millones de estrellas.) ¿A qué distancia se encontraban esas nebulosas? ¿Qué eran exactamente? ¿Se desplazaban? Con el paso del tiempo, los astrónomos aprendieron a extraer cada vez más información acerca de las estrellas a partir del análisis de la luz que emiten. Y así averiguaron, por ejemplo, la distancia a la que se encuentran respecto a nuestra propia posición y si se están aproximando o alejando de nosotros.

Uno de los métodos más ingeniosos para comprender el movimiento de las estrellas y las nebulosas es el que se basa en el llamado efecto Doppler (que debe su nombre al matemático decimonónico austríaco Christian Andreas Doppler) para medir la velocidad a la que se mueven las estrellas y las nebulosas en el viaje que las acerca o aleja de la Tierra. La energía se desplaza en forma de ondas, y estas, similares a las que vemos en la playa, tienen una frecuencia. Describen picos y valles a un ritmo regular que es posible medir. Ahora bien, la frecuencia se modifica si el observador se desplaza. Si uno se zambulle en el mar y empieza a nadar en dirección opuesta a la orilla, tendrá la impre-

sión de que la frecuencia con que intercepta las olas aumenta. Y lo mismo sucede con las ondas sonoras. Si un objeto ruidoso, por ejemplo una moto, se aproxima a nosotros, la frecuencia de las crestas de ese sonido nos dará la sensación de un *crescendo*, y la interpretación que harán nuestros oídos del incremento de la frecuencia se traducirá en la percepción de un tono más alto. Sin embargo, cuando el motociclista supere nuestra posición, la sonoridad parecerá adquirir unos matices más graves, porque ahora las ondas sonoras se alargan. Como es obvio, el motorista, que no se mueve de su vehículo, oye siempre el mismo tono. El efecto Doppler es justamente ese cambio aparente que se aprecia en la frecuencia de las emisiones electromagnéticas cuando los objetos se acercan o se alejan unos de otros.

La luz de las estrellas obedece al mismo principio. Si una estrella o una galaxia se está aproximando a la Tierra, la frecuencia de sus ondas luminosas parece ir aumento. Al interpretar los estímulos lumínicos, nuestros ojos tienden a ver de color azul las frecuencias más altas del espectro de la luz visible, de modo que decimos que una estrella o una galaxia que se acerca a nuestro planeta experimenta un corrimiento hacia el extremo azul del espectro electromagnético. Por el contrario, si el objeto cósmico se aleja de la Tierra, la frecuencia de la luz que desprende parecerá desplazarse al polo rojo de ese mismo espectro, cosa que los astrónomos describen como un «corrimiento al rojo». También podemos averiguar la velocidad a la que se desplaza una galaxia mediante la medición de las variaciones que experimenta la frecuencia de la luz que emite.

En 1814, un joven científico alemán llamado Joseph von Fraunhofer inventó el primer espectroscopio útil para la ciencia. El espectroscopio es un prisma especial que separa las diferentes frecuencias de la luz estelar tal como hacen los paralelepípedos de vidrio, que dividen el rayo de luz blanca en los colores del arco iris. Fraunhofer descubrió que, a determinadas frecuencias, el espectro de la luz solar presentaba una serie de finas líneas oscuras: algo así como un código de barras cosmológico. Otros dos investigadores alemanes, Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen, lograron demostrar en el laboratorio que a determinadas frecuencias los elementos químicos emiten o absorben energía luminosa. Daba la impresión de que aquellas rayas de tonalidad más apagada se debían al hecho de que la luz procedente del núcleo solar era

absorbida por los átomos de los distintos elementos situados en las capas más externas del sol, cuya temperatura es inferior a la del centro. Esto reducía la energía disponible a esas frecuencias y dejaba una impronta de líneas oscuras en el espectro de emisión. Damos a esas estrías el nombre de «líneas de absorción», y los diferentes elementos presentan cada uno su particular pauta de líneas de absorción. Pongamos un ejemplo: hay líneas que son características del carbón y el hierro. Si la luz de la estrella en cuestión se desplaza al rojo, todas las líneas de su espectro luminoso tienden hacia ese mismo extremo rojo y podemos medir con exactitud el grado de corrimiento que muestran. Es como si el astrónomo dispusiera de una especie de dispositivo de control de velocidad similar al que usa la policía de tráfico.

A principios del siglo xx, el astrónomo estadounidense Vesto Slipher empleó estas técnicas para poner de manifiesto que el número de objetos astronómicos que viran al rojo es asombrosamente elevado —lo que significa que se están alejando de la Tierra, y a buena velocidad, además—. Esa tendencia a la dispersión resultaba muy extraña. Su verdadero sentido se comprendió cuando otro astrónomo estadounidense, Edwin Hubble, puso en relación estos hallazgos con las mediciones de la distancia que nos separa de esos lejanísimos cuerpos celestes.

Calcular la distancia que media entre nuestro planeta y las estrellas y las nebulosas resulta sumamente complejo y problemático. Como ya advirtieron los antiguos griegos, una posibilidad es utilizar el método del paralaje, similar al sistema de los agrimensores. Si uno dedica unos meses a contemplar atentamente la posición de las estrellas, mientras la Tierra orbita en torno al Sol, advertirá que algunas de esas luces parecen cambiar de posición respecto de las constelaciones vecinas. En tal caso, recurriendo a la trigonometría puede calcularse la distancia a la que se encuentran. Por desgracia, incluso la estrella más cercana, conocida como Próxima Centauri, se halla tan lejos (unos cuatro años luz de la Tierra) que no es posible detectar ningún desplazamiento sin un equipo muy sofisticado. Hubo que esperar al siglo xix para que los astrónomos estuvieran en condiciones de medir la distancia a las estrellas más próximas valiéndose del paralaje. En cualquier caso, los objetos que estudiaba Vesto Slipher estaban a distancias muchísimo más remotas.

Afortunadamente, a principios del siglo xx una astrónoma del Observatorio del Harvard College, Henrietta Leavitt, concibió una forma de medir la distancia que nos separa de las estrellas y las nebulosas alejadas de la Tierra utilizando un tipo de estrella muy particular que se conoce con el nombre de «variable cefeida» —una estrella cuyo brillo varía con gran regularidad (de hecho, la estrella polar es una Cefeida)—. Leavitt descubrió que existía una correlación muy sencilla entre la frecuencia de las variaciones y la luminosidad o brillo de la estrella, de modo que pudo calcular el resplandor absoluto de una de las Cefeidas. Hecho esto, y mediante la comparación del brillo aparente que mostraba la estrella al ser contemplada desde la Tierra, Leavitt pudo hacer una estimación de la distancia a la que se encontraba, dado que la cantidad de luz que nos llega de una estrella disminuye en función del cuadrado de la distancia que haya tenido que recorrer. Esta maravillosa técnica proporcionó a la ciencia las candelas astronómicas estándar que necesitaba Edwin Hubble para realizar dos profundos descubrimientos sobre nuestro universo.

A principios del siglo xx, la mayoría de los astrónomos creían que la totalidad del cosmos se hallaba contenido en el interior de nuestra galaxia, la Vía Láctea. En 1923, Hubble empleó uno de los telescopios más potentes del mundo, el situado en el Observatorio del Monte Wilson de Los Ángeles, para mostrar que las Cefeidas variables situadas en lo que por entonces se conocía con el nombre de «nebulosa de Andrómeda» se encontraban tan alejadas de la Tierra que era imposible que se hallaran dentro de los límites de nuestra galaxia. Esto probaba lo que algunos astrónomos ya sospechaban: que el universo era mucho mayor que la Vía Láctea y estaba poblado de muchas galaxias y no solo de la nuestra.

Sin embargo, cuando empezó a medir las distancias que nos separan de un buen número de objetos lejanos con el método de las cefeidas variables, Hubble hizo un descubrimiento aún más asombroso. En 1929 demostró que casi todas las galaxias parecían estar alejándose de nuestro planeta y que los objetos estelares más remotos eran justamente los que daban la impresión de experimentar un mayor y más intenso corrimiento al rojo. En otras palabras, cuanto más distante se hallaba un objeto, más deprisa se alejaba de nosotros, y eso parecía indicar que todo el universo se hallaba en expansión. El astrónomo belga Georges

Lemaître, quien ya había llegado a esa conclusión de un modo teórico, señaló que si el universo se estaba expandiendo, debía concluirse que en algún momento del pasado la totalidad de cuanto contiene debió de estar comprimida en un espacio minúsculo, en una especie de punto infinitesimal al que él llamó «átomo primordial».

A la mayoría de los astrónomos les sorprendió la idea de que el universo pudiera estar expandiéndose y supusieron que Hubble había cometido algún error en sus cálculos. Ni siquiera el propio Hubble estaba convencido, y de hecho Einstein estaba tan seguro de que el universo era estable que retocó las ecuaciones de su teoría de la relatividad general para que predijeran un cosmos fijo e invariable añadiendo lo que denominó la llamada «constante cosmológica».

El escepticismo de los astrónomos se debía en parte a que las estimaciones de Hubble resultaban efectivamente problemáticas. De acuerdo con sus cálculos, la expansión del universo había empezado apenas dos mil millones de años antes de su descubrimiento, y sin embargo los astrónomos sabían ya que la antigüedad de la Tierra y su sistema solar se remontaba a un período muy anterior. Esta es una de las razones de que, durante varias décadas, la mayoría de los astrónomos consideraran que la idea de un universo en expansión resultaba intrigante pero probablemente errónea. Predominaban quienes preferían la teoría cosmológica del estado estacionario, propuesta en 1948 por Hermann Bondi, Thomas Gold y Fred Hoyle. Según los defensores del universo estático, no había duda de que las galaxias parecían estar distanciándose unas de otras, pero como al mismo tiempo se estaban creando nuevas cantidades de materia, lo que sucedía a la gran escala del cosmos era que el universo conservaba aproximadamente la misma densidad, con lo que en realidad cambiaba muy poco.

Aun así, las pruebas terminaron por inclinar la balanza en favor del universo expansivo. En la década de 1940, Walter Baade, un astrónomo que trabajaba en el Observatorio del Monte Wilson de Los Ángeles (el mismo en el que Hubble había efectuado sus mediciones), mostró que existían dos tipos de estrellas que cumplían las condiciones de las variables cefeidas, y que en función de cuál se empleara en los cálculos se obtenían diferentes estimaciones de las distancias interestelares. Los cómputos revisados de Baade sugerían que el Big Bang podría haberse producido hace más de diez mil millones de años (las estima-

ciones más recientes indican que tuvo lugar hace nada menos que 13.820 millones de años). Esto eliminaba el anterior problema cronológico. Actualmente no tenemos noticia de que existan objetos astronómicos de antigüedad superior a esos 13.820 millones de años, lo cual es un argumento muy sólido en favor de la cosmología del Big Bang. A fin de cuentas, si el universo no experimentara ningún cambio y fuera eterno, está claro que deberíamos encontrar un gran número de objetos de más de 13.820 millones de años.

La prueba definitiva apareció a mediados de la década de 1960 y se obtuvo gracias al descubrimiento de la radiación de fondo de microondas, que es la radiación que generó la formación de los primeros átomos, ocurrida aproximadamente 380.000 años después del Big Bang. La radiación de fondo de microondas constituyó también la constatación definitiva de la expansión del universo. ¿Por qué?

En los años cuarenta del siglo pasado, varios astrónomos y físicos consideraron que los datos de Hubble eran lo bastante llamativos para que valiera la pena intentar imaginar qué habría podido suceder en caso de que efectivamente se hubiera producido una gran explosión. ¿Qué aspecto habría tenido el universo inicial si todo se hallaba comprimido en un átomo primordial? Si Hubble y Lemaître estaban en lo cierto, el universo primitivo debió de ser enormemente denso y tener una temperatura elevadísima, y también tuvo que estar sometido a un rápido proceso de expansión y enfriamiento. ¿Cómo se habrían comportado la materia y la energía en condiciones tan extremas? En el transcurso de la segunda guerra mundial, el Proyecto Manhattan, concebido para fabricar una bomba atómica, había incentivado la investigación de la física de altas temperaturas. A finales de la década de 1940, el físico de origen ruso George Gamow se basó en los hallazgos derivados del Proyecto Manhattan para inferir lo que pudo haber sucedido en el universo inmediatamente después del Big Bang. En colaboración con su colega Ralph Alpher, Gamow predijo que el universo habría terminado por enfriarse lo suficiente como para propiciar la formación de átomos, a lo que añadió que, una vez constituidos estos, debió de liberarse una cantidad de energía colosal al escapar los fotones del plasma eléctricamente cargado de la era preatómica y empezar a fluir libremente por el universo, convertido ya en un entorno neutro desde el punto de vista eléctrico. Es más, ambos científicos argumen-

taron que este destello de energía todavía debería poder detectarse, aunque posiblemente su frecuencia hubiera descendido ya hasta valores casi nulos, dado que se había estado dispersando por un universo en pleno proceso de dilatación. Si los científicos observaban las cosas con la minucia suficiente encontrarían esa radiación a temperaturas cercanas al cero absoluto, y además esa radiación vendría de todas direcciones. Muchos pensaron que se trataba de una idea descabellada, y por eso nadie se puso a buscar una radiación de baja temperatura presente en el conjunto del cosmos.

En 1964 se detectó accidentalmente el destello de radiación de Gamow. En los laboratorios Bell de Holmdel, en Nueva Jersey, dos radioastrónomos llamados Arno Penzias y Robert Wilson empezaron a construir una antena de radio con el objetivo de establecer contacto con los satélites artificiales. Para purgar las interferencias decidieron enfriar el receptor hasta dejarlo en una temperatura situada apenas 3,5 grados Celsius por encima del cero absoluto, pero comprobaron que a pesar de todo persistía un desconcertante zumbido de energía de baja temperatura. Parecía proceder de todas direcciones, así que sabían que la causa no podía ser una explosión estelar de ciclópea magnitud. Sospechando que el receptor acusaba algún problema técnico, ahuyentaron a un par de palomas que habían adquirido la costumbre de encaramarse a los brazos de la antena y limpiaron todas las deyecciones que habían dejado las aves, pero no se produjo ningún cambio. (La parte triste de la historia es que las palomas regresaban una y otra vez a la torre receptora, así que al final hubo que sacrificarlas.) No lejos de allí, en Princeton, un equipo de astrónomos dirigido por Robert Dicke acababa de iniciar la búsqueda de la radiación de fondo de Gamow y un buen día oyó hablar del tropiezo de Penzias y Wilson. Comprendieron de inmediato que les habían adelantado. Los dos equipos de investigación decidieron publicar conjuntamente su descubrimiento en una serie de artículos científicos en los que identificaban su hallazgo con la energía que, según había colegido Gamow, se liberó inmediatamente después del Big Bang.

El descubrimiento de la radiación de fondo de microondas convenció a la mayoría de los astrónomos de que el Big Bang había sido un acontecimiento real, pues ninguna otra teoría era capaz de explicar esa radiación omnipresente. Confirmar una predicción estafalaria pero

coronada en último término por el éxito, como sucedió en este caso, es uno de los modos más categóricos de convencer a la comunidad científica de la validez de una teoría. Al parecer, pues, el universo estaba expandiéndose y había surgido como consecuencia de una gran explosión, el Big Bang.

En la actualidad, las pruebas de que el cosmos que habitamos inició su andadura con una deflagración colosal son abrumadoras. Quedan por resolver un gran número de detalles, pero por el momento, la idea central de que esa detonación supuso el primer capítulo de la historia moderna de los orígenes está firmemente asentada. Así fue el inicio del universo. Y dado que la física cuántica permite que las cosas puedan surgir del vacío, todo parece indicar que la totalidad del universo surgió de una suerte de nada rebosante de capacidades potenciales.¹⁴