

David Bercovici

Los orígenes de todo



Alianza editorial
El libro de bolsillo

Título original: *The Origins of Everything*.
Esta obra fue publicada originalmente por
Yale University Press
Traductor: Miguel Paredes Larrucea

Diseño de colección: Estudio de Manuel Estrada con la colaboración de Roberto Turégano y Lynda Bozarth
Diseño de cubierta: Manuel Estrada
Fotografía de Javier Ayuso

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece penas de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeran, plagiaran, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.



© Copyright 2016 by David Bercovici
© de la traducción: Miguel Paredes Larrucea, 2020
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2020
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15
28027 Madrid
www.alianzaeditorial.es

ISBN: 978-84-9181-839-7
Depósito legal: M. 109-2020
Printed in Spain

Si quiere recibir información periódica sobre las novedades de Alianza Editorial, envíe un correo electrónico a la dirección: alianzaeditorial@anaya.es

Índice

9	Prefacio
	Los orígenes de todo
15	1. El universo y las galaxias
35	2. Las estrellas y los elementos
51	3. El sistema solar y los planetas
77	4. Los continentes y el interior de la Tierra
111	5. Los océanos y la atmósfera
135	6. El clima y la habitabilidad
167	7. La vida
195	8. Los humanos y la civilización
215	Lecturas suplementarias
227	Agradecimientos
229	Índice analítico

Prefacio

La mejor manera de escribir la historia del universo posiblemente sea al revés. No tecleando el texto al revés, sino contándola en orden cronológico inverso. La fascinación que sentimos por el momento de la creación, ya sea de tipo religioso o científico, proviene de la curiosidad por saber cómo llegamos adonde nos encontramos hoy día. Si empezamos por el momento actual y rebobinamos hacia atrás 7 000 años de historia escrita de la humanidad, tendremos todavía por delante otros 7 millones de años hasta los albores de la humanidad. Por muy impresionante que parezca eso, lo cierto es que quedan otros 600 millones de años hasta la aparición de los animales, otros 3 millardos de años hasta el origen de la vida y otro millardo escaso de años hasta el nacimiento de nuestro planeta y del sistema solar. Pero desde ahí quedan todavía 9 millardos de años hasta el inicio del tiempo. Si pudiésemos pasar la película de la historia del uni-

verso hacia atrás a lo largo de un día entero de 24 horas, como una especie de película de vanguardia brutalmente larga, la historia de la humanidad pasaría como un relámpago en 4 centésimas de segundo, incluso antes de que apareciesen los créditos en la pantalla; los primeros animales aparecerían una hora después, algo todavía soportable; sin embargo, tendríamos que esperar otras 7 horas más para poder observar el origen de la Tierra y del sistema solar, y otras agónicas 16 horas hasta llegar al origen del universo.

Pero por muy tentador que resulte contar la historia del universo al revés, el orden cronológico es una ayuda, sobre todo porque estamos acostumbrados a pensar y a vivir hacia adelante en el tiempo. En este breve libro voy a contar esa historia en forma acelerada, no en 24 horas (aunque eso dependerá del lector), sino de una forma simple y rápida, con viñetas intercaladas para ilustrar los hitos principales. El libro cubre los momentos estelares de la historia del universo y explica cuándo y –lo que es más importante– cómo se produjeron los distintos acontecimientos. El concepto de «orígenes» está profundamente arraigado en la ciencia: no se trata de mitos ni de historias *ad hoc*, sino de las grandes hipótesis científicas que existen sobre los orígenes de las cosas. Y la diferencia entre mitos e historias *ad hoc*, por un lado, e hipótesis, por otro, es fundamental; las hipótesis hacen predicciones mensurables, por lo cual los investigadores pueden refutarlas o falsarlas mediante experimentos u observaciones. La hipótesis contrastable es quizás el precepto más fundamental de la ciencia, y aunque pueda sonar un poco árido, espero transmitir un poco de su sabor

a través de estas historias sobre los orígenes. Descuide el lector: no voy a cargar mucho la mano en el condimento.

El presente libro surgió de un curso, de un seminario de licenciatura impartido en Yale con el modesto título de «Los orígenes de todo», cuyo objetivo era enseñar ciencia a través de estas «grandes» hipótesis contrastables. Aunque el material del libro va destinado al gran público, no soy partidario de pecar de frívolo con la ciencia, pero al mismo tiempo haré todo lo posible por no embaucar al lector con una jerga especializada, que de todas formas trataré de explicar siempre que necesite utilizarla.

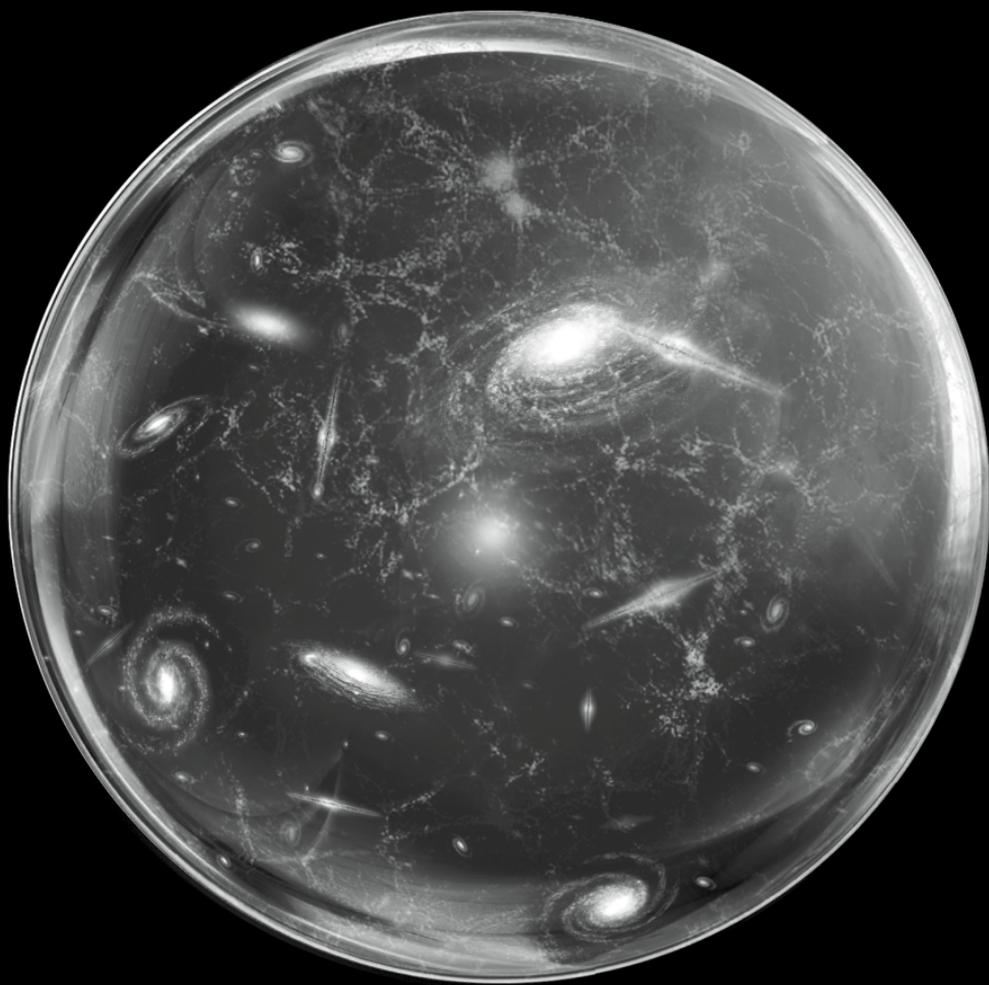
Las viñetas que ilustran las historias de los orígenes no están elegidas al azar ni están desconectadas unas de otras; cada una de ellas depende de la anterior y fluye hacia la siguiente. Los elementos fundamentales de la vida proceden del aire, los mares y las rocas de nuestro planeta, que a su vez se formó a partir del polvo interestelar. Los elementos contenidos en ese polvo se forjaron en estrellas gigantes, que a su vez nacieron del gas creado en el Big Bang o «gran explosión». El lugar que ocupa nuestro planeta y la manera en que sus océanos, su atmósfera y su interior se formaron y cambian son todos ellos responsables de haber mantenido la existencia de vida compleja durante cientos de millones de años.

Como científico que ha investigado algunas de las cuestiones tratadas aquí (aunque ciertamente no todas), es inevitable que aborde los temas y las conexiones entre las historias de los orígenes desde la perspectiva singular –o, para ser más sinceros, desde el sesgo– del geofísico. La tectónica de placas –y esto es algo que mis estudiantes acaban siempre por descubrir– desempeña un papel

formidable en esta narrativa, y si yo lograra hallar alguna manera de hacerlo responsable del propio Big Bang, no dejaría de hacerlo (aunque habría un molesto problema con la cronología). Sobre la historia del universo y de la vida hay excelentes libros mucho más completos que este; al final incluyo una lista de todas las obras recomendadas. El objetivo del presente libro no es el de ser profundo y abarcarlo todo, sino el de ser intrépidamente superficial y llano, en el mejor sentido de estos términos... si es que existe alguno. Mi intención es hacer una exposición rápida –y espero que legible– que dé una idea de la historia del universo (y, hasta cierto punto, del lugar de la humanidad en esta historia); y lo que es más importante, despertar en el lector las ganas de saber más sobre el tema.

Descargo de responsabilidad: dada la amplitud de los temas que cubre esta breve obra, el lector podría caer en el error de pensar que soy experto en todos ellos. Sería maravilloso, pero francamente no lo soy. Mis conocimientos provienen de tratar todas estas cuestiones a un cierto nivel a lo largo de casi treinta años de enseñanza universitaria, pero desde luego no soy ni astrónomo ni biólogo ni antropólogo. Por lo mismo, las cuestiones que se hallan más próximas a mi propio campo, el de la geofísica y la ciencia planetaria, reciben sin duda un tratamiento más detallado. Por consiguiente, el lector no debería tomar este libro como la palabra final sobre las numerosas cuestiones que toca. Es más bien como el plato de degustación de un restaurante de cocina de fusión cuyo cocinero es más conocido por sus tallarines.

Los orígenes de todo



1. El universo y las galaxias

El tiempo comienza con una explosión increíblemente colosal, que es siempre una buena manera de comenzar una historia. Sin embargo, hasta hace relativamente poco, más o menos un siglo, no se sabía si ese primer momento marcaba también la creación del universo o la creación de la Tierra. De hecho, las primeras palabras de la Biblia judeocristiana son: «En el comienzo de todo, Dios creó el cielo y la tierra», un suceso singular que James Ussher, obispo irlandés del siglo XVII, fechó exactamente en el día 23 de octubre de 4004 a. C.

Pero no mucho antes de Ussher hubo varios eminentes filósofos renacentistas que defendieron la idea radical de que el tiempo no tiene comienzo alguno. Uno de los más conocidos, en gran parte debido a su martirio, fue Giordano Bruno, monje dominico y erudito italiano del siglo XVI, que defendía la por entonces controvertida teoría de Copérnico de que la Tierra no era el centro del univer-

so, sino que orbitaba alrededor del Sol. Además, propuso la idea de que el propio Sol no era más que una de tantas otras estrellas en el cielo nocturno, todas ellas con sus propios planetas. Pero lo más importante (al menos para nuestra historia) es que Bruno creía que el universo era inmutable y de edad y extensión infinitas. Aunque no fue él el primer erudito en Europa en defender tales ideas, la Iglesia católica las declaró heréticas (junto con sus ideas religiosamente más ofensivas, como las relativas a la divinidad de Jesucristo y la validez de la transubstanciación). Al final fue arrestado en Venecia, juzgado, extraditado a Roma y vuelto a juzgar. Bruno era temperamental y sarcástico, y se negó a retractarse de sus escritos a menos que el papa o Dios mismo le dijeran que estaba en un error. Ninguno de los dos consintió, y Bruno fue quemado en la hoguera el miércoles de ceniza de 1600 en el Campo de' Fiori de Roma, donde hoy una estatua suya fulmina con la mirada a los alegres turistas que llenan los numerosos cafés de la plaza.

Por fortuna, a los científicos rara vez se les quema ya en la hoguera por sus ideas (al menos en sentido literal). En cierta ocasión, estando con un colega de visita en Roma delante de la imponente estatua de Bruno, nos hicimos la pregunta de si, bajo amenaza de muerte, nos retractaríamos de nuestros escritos científicos, como hizo Galileo Galilei treinta y tres años después del juicio de Bruno. Tras una breve pausa (y lo reconozco, entre estallidos de risas) convenimos en que claro que sí, que nos retractaríamos en un santiamén. Dejando a un lado nuestra cobardía –y el pensamiento de morir por todos nuestros escritos, que nadie ha leído–, tenemos hoy la ventaja de la perspectiva, sabe-

dores de que la mala ciencia muere con sus progenitores, mientras que la buena no. Si las ideas científicas mueren con su autor, es probablemente eso lo que se merecían. Pero Bruno sacrificó su vida por sus creencias, convirtiéndose en uno de los más famosos mártires de la ciencia; y al final, sus ideas fueron reconocidas como sorprendentemente prescientes, en especial la de que la Tierra no es más que uno de muchos mundos que orbitan alrededor de una de tantas estrellas en un vasto y viejo universo.

Sin embargo, la idea de que el universo es de edad y extensión infinitas era errónea: el tiempo tiene efectivamente un principio. La prueba más simple de este hecho es la oscuridad del cielo nocturno. Si viviésemos en un universo de edad y tamaño infinitos, entonces en todas y cada una de las porciones del cielo nocturno habría una estrella en algún lugar, y la luz de todas esas estrellas habría tenido tiempo suficiente para llegar hasta nosotros, de manera que el cielo entero estaría iluminado con luz estelar. Aunque el matemático alemán Johannes Kepler y el erudito inglés Thomas Digges (coetáneos de Bruno) fueron ya conscientes de la paradoja del cielo nocturno, esta lleva el nombre de Heinrich Wilhelm Olbers, un astrónomo alemán muy posterior, de los siglos XVIII y XIX. La solución de la paradoja de Olbers la encontró el físico británico William Thomson, lord Kelvin, que vivió en los siglos XIX y XX, e incluso fue inferida por el escritor estadounidense Edgar Allan Poe: el universo es, o bien de edad finita (y por tanto la luz de las estrellas distantes puede que no haya llegado hasta nosotros), o bien de tamaño finito (y entonces no todas las porciones del cielo contienen una estrella), o ambas cosas a la vez. Esta es una de las prime-

ras y más importantes pistas que condujeron en último término a la hipótesis del Big Bang, porque implica que el universo comenzó en algún momento del pasado o no en todas partes al mismo tiempo.

En los años veinte, el astrónomo estadounidense Edwin Hubble demostró mediante observaciones telescópicas la existencia de galaxias más allá de la Vía Láctea, que en un principio se pensaba que constituía el límite de nuestro universo finito y estático. Hubble dedujo la distancia de las galaxias utilizando estrellas pulsantes, las así llamadas variables cefeidas, cuyo periodo de pulsación (el tiempo entre dos pulsos sucesivos) y luminosidad media (potencia total emitida en forma de luz) guardan entre sí una relación matemática sencilla. Esta característica convierte a las variables cefeidas en buenos puntos de referencia para calcular distancias: dos cefeidas con la misma pulsación tienen la misma luminosidad, de modo que si una de ellas es menos brillante que la otra es porque está más lejos, y la diferencia de distancias es posible medirla (porque el efecto de pérdida de brillo guarda una relación sencilla con el cuadrado de la distancia). Así pues, las cefeidas dan la distancia a las galaxias a las que pertenecen. Hubble también encontró que, por término medio, la luz de las galaxias aparece tanto más «desplazada al rojo» cuanto más lejos está la galaxia. La luz roja es la que tiene mayor periodo y mayor longitud de onda de todas las ondas luminosas visibles. El desplazamiento al rojo de la luz es parecido a cómo las ondas sonoras emitidas por la sirena de una ambulancia se desplazan hacia un tono más bajo (hacia frecuencias más bajas, o longitudes de onda y periodos más largos) al alejarse de nosotros la sirena. La luz

desplazada al rojo de las galaxias indica que, cuanto más lejos están, más rápido se alejan, lo que significa que en general todas las galaxias se alejan unas de otras dispersándose hacia afuera.

Antes ya de las observaciones de Hubble de que las galaxias se alejan en general unas de otras, el astrónomo belga Georges Lemaître y el físico y matemático ruso Alexander Friedmann predijeron, independientemente uno del otro, que el universo se está expandiendo. Ambos utilizaron la teoría general de la relatividad para sus cálculos, aunque el propio Einstein rechazó en un principio sus conclusiones (para aceptarlas más tarde). Las observaciones de Hubble aportaron la prueba en apoyo de sus ideas de la expansión del universo.

Si el universo es de edad y extensión finitas, entonces quiere decir que en su origen –reproduciendo hacia atrás la expansión– toda su masa y su energía estaban concentradas en un volumen mucho más pequeño y caliente, lo que Lemaître llamó un «huevo cósmico». La expansión inicial de esta masa, en el primer momento del universo, fue bautizada despectivamente con el nombre de *Big Bang* ('gran explosión') por Fred Hoyle, astrónomo de Cambridge, quien en realidad detestaba la idea. El nombre hizo fortuna, aunque el término *bang* sugiere una explosión, lo que realmente no es correcto (pese a la frase que abre este capítulo). Una explosión implica una onda de choque que separa un gas a alta presión de otro a baja presión, mientras que inicialmente toda la masa y la energía del universo, y por tanto todo el espacio, estaban dentro de su diminuto volumen; no había nada hacia lo cual expandirse. A medida que el universo se expande, lleva el

borde del espacio consigo; fuera de esa frontera no hay luz, ni materia, ni energía ni tiempo: una idea nada intuitiva.

Luego, en los años sesenta, los estadounidenses Arno Penzias y Robert Wilson descubrieron la radiación del fondo cósmico de microondas (detectable como un silbido en la antena, perceptible en todo el universo), que demostró que las profundidades del espacio vacío no están absolutamente frías, a cero grados de temperatura y cero energía, sino llenas de microondas a unos «confortables» 3 kelvin (-270 grados Celsius, o grados centígrados). Este calor residual es un indicio del estado más caliente que reinaba en el universo después del Big Bang.

La teoría del Big Bang –o, sin tan siquiera recurrir a ella: la simple observación de la expansión del universo– permite hacer una sencilla predicción de su edad. Si calculamos el tiempo que tardaría el universo en crecer, a la velocidad de expansión estimada (llamada constante de Hubble), desde un pequeño volumen hasta su tamaño actual y enfriarse luego hasta una temperatura de 3 kelvin, predeciríamos que la edad del universo es de unos 14 milardos de años (millardo arriba o abajo). Esta simple inferencia está bastante bien confirmada por observaciones astronómicas de los objetos más antiguos del universo, que generalmente son estrellas pequeñas que arden muy despacio (como veremos en el capítulo siguiente), aunque estas estrellas no nacieron sino varios cientos de millones de años después del Big Bang, de modo que la cifra anterior es una estimación por defecto. La mejor estimación actual para la edad del universo es 13,8 millardos de años.

Ahora bien, la teoría del Big Bang es mucho más que una descripción del crecimiento del universo desde un

punto diminuto hasta su ingente tamaño actual. La secuencia de sucesos acaecidos a partir de su estado inicial gobierna la verdadera naturaleza de la materia y la estructura del universo. En pocas palabras: entre las primeras ínfimas fracciones de microsegundo y aproximadamente el primer minuto después del Big Bang ocurrieron muchas cosas. En general (antes de entrar en más detalles), podemos imaginar el universo inicial como algo enormemente condensado y caliente, parecido a una diminuta bola de pura e inmensa energía, y que a medida que se fue expandiendo y enfriando, se fueron condensando los distintos estados de la materia, la energía e incluso las fuerzas de la naturaleza, algo así como el vapor de agua que al enfriarse se convierte primero de gas en agua líquida y luego de agua en hielo sólido. Cada paso, o transición de fase, resulta en un estado diferente de la materia (gas, líquido o sólido). Ahora bien, las transiciones que ocurrieron en los primeros momentos de la creación eran mucho más exóticas y comenzaron a partir de un estado inicial que todavía no entendemos del todo.

En un primerísimo momento, justo al inicio del Big Bang, se cree que las temperaturas y las presiones eran tan altas que el universo (tal y como era entonces) contenía una única forma de energía extrema, dentro de un volumen increíblemente reducido, mucho, mucho más pequeño que un átomo o incluso que una partícula subatómica. Este estado existió durante los primeros 10^{-43} segundos. (Para futura referencia, 10^{-2} es lo mismo que 0,01, y por tanto 10^{-43} es un 1 separado de la coma decimal por 42 ceros.) Este espacio de tiempo se denomina la era o época de Planck, en honor de Max Planck, el físico alemán del

siglo XX que está considerado generalmente como padre de la mecánica cuántica. Durante esta era (y aquí señalaré que los cosmólogos hacen de los términos «era» y «época» un uso caprichoso que volvería locos a la mayoría de los geólogos) las fuerzas fundamentales de la naturaleza se reducían a una sola. Una fuerza supone el intercambio de partículas; por ejemplo, los imanes de cocina se pegan a la nevera mediante el intercambio de partículas llamadas fotones, que son a la vez partículas portadoras de la fuerza electromagnética y partículas de luz. Otras fuerzas tienen hoy diferentes partículas portadoras, pero si todas las partículas portadoras de fuerza eran iguales en la era de Planck, entonces todas las fuerzas tenían que ser iguales. La idea de la existencia inicialmente de una única fuerza es la teoría del campo unificado o teoría del todo buscada desde hace tiempo por los físicos teóricos.

Actualmente no se dispone de ninguna teoría que explique cómo unificar la gravedad (la fuerza que nos mantiene unidos a este planeta) con las otras tres fuerzas fundamentales: la electromagnética (que controla la fuerza entre cargas eléctricas y que también incluye las fuerzas magnéticas), la fuerte y la débil (responsables de cómo se mantienen unidas las partículas subatómicas dentro de los núcleos atómicos). Campos enteros de la física como la teoría de cuerdas o la gravedad cuántica de bucles o de lazos son intentos de roer este duro hueso. La unificación de las tres fuerzas distintas de la gravitatoria ha tenido más éxito, tanto teórica como experimentalmente; es lo que se denomina la teoría de gran unificación, que se inscribe dentro de lo que se denomina el modelo estándar de «casi todo», es decir, de todo menos la gravedad. El descubrimiento de la

partícula o bosón de Higgs (llamada así por el físico británico Peter Higgs) supuso un paso fundamental para la validación del modelo estándar y en principio explica qué es lo que confiere a la materia la propiedad de masa (en el sentido de que la «masa inercial» –lo que hace que cueste más poner en movimiento algunos objetos en comparación con otros– es en realidad debida a la resistencia ejercida sobre las partículas por un campo de Higgs omnipresente).

Pero me estoy desviando. Lo cierto es que todavía no tenemos mucha idea de cuál era el estado del universo durante la era de Planck, ni cómo llegó hasta ese estado, ni tampoco qué había antes. Sea como fuere, al final de la era de Planck el diminuto universo enormemente compacto se hizo inestable y comenzó el Big Bang.

Los siguientes 10^{-35} segundos del universo podrían realmente llamarse el estallido (el «bang») del Big Bang, con una inflación extremadamente rápida; este minúsculo intervalo de tiempo se denomina la era inflacionaria. La inflación expandió el volumen del universo por un factor enorme de 10 elevado a un número muy grande (algo así como 10^{70}), y aunque este aumento solo supuso llevar el tamaño del universo hasta algo relativamente pequeño (varios metros), tuvo lugar a una velocidad varias veces superior a la de la luz. La inflación se piensa que fue producida por la liberación de una única forma de energía almacenada en un único campo de fuerza, y ese estallido de energía se convertiría en la fuente de materia y energía del universo conocido que siguió después.

La razón de que esa rápida inflación se haya convertido en parte integral de la historia del Big Bang es que, sin ella, la observación fundamental de la radiación del fondo cósmico

mico de microondas –ese ruido omnipresente que mencionamos antes– sería difícil de explicar. Por ejemplo, teniendo en cuenta que, pasados casi 14 millardos de años, todo el espacio vacío del universo parece estar aproximadamente a la misma temperatura, es necesario que los distintos extremos del universo permanecieran en contacto unos con otros el tiempo suficiente y a lo largo de una extensión suficiente como para poder exhibir la misma temperatura en lo sucesivo. Si nunca hubiesen estado en contacto mutuo desde el tiempo cero, sería difícil entender por qué tienen todos ellos la misma temperatura ahora. La rápida inflación permitió al universo lograr rápidamente un volumen pequeño pero finito en el que todas sus partes tenían la misma temperatura, antes de salir despedidas en todas direcciones.

Después de la inflación, la energía liberada se expandió y redujo la densidad lo justo para que se condensase la materia. La energía se puede convertir en materia de acuerdo con una de las pocas ecuaciones de Einstein que la mayoría de la gente recuerda, $E = mc^2$, donde E es la energía, m la masa convertida y c la velocidad de la luz. Esta primera materia apareció en su mayor parte en forma de una sopa de partículas subatómicas llamadas quarks, que son los elementos constitutivos de los protones y los neutrones, que a su vez son los componentes fundamentales de los núcleos atómicos. Además seguía existiendo una cantidad ingente de energía pura en forma de fotones, así como un grupo de partículas de materia mucho menos masivas llamadas genéricamente leptones. Entre los leptones figuran los electrones (las diminutas partículas cargadas negativamente que orbitan alrededor de los núcleos

atómicos y que transportan la corriente eléctrica en los cables), así como unas partículas neutras casi desprovistas de masa llamadas neutrinos, que nos pasan constantemente a toda velocidad a través del cuerpo sin darnos para nada cuenta de ello. Los leptones se definen en parte por el hecho de que no se pueden combinar entre ellos para formar núcleos atómicos.

En este punto de la historia las temperaturas eran al principio todavía demasiado altas para que los quarks se pudieran combinar entre sí. Pero en los siguientes 10^{-5} segundos ocurrieron muchas otras cosas. La materia y lo que se llama la antimateria existían en casi la misma proporción. Por poner un ejemplo: la versión antimateria del electrón es el positrón, que tiene la misma masa que el electrón, pero carga eléctrica opuesta (positiva). Ahora bien, la materia y la antimateria se aniquilan mutuamente al entrar en contacto, y eso es lo que ocurrió tras un breve lapso de coexistencia. Esta aniquilación liberó más energía, pero dejó atrás «un poco» de materia normal, que era ligeramente más abundante que la antimateria, y esa es la materia que existe hoy día. La materia oscura, que se cree que constituye la mayor parte de la masa del universo (más adelante diremos algo más sobre el particular), probablemente se creó también en esa época. En las últimas etapas de ese intervalo de tiempo se produjo la combinación de quarks, ahora lo bastante fríos para combinarse y formar protones y neutrones. La temperatura era, sin embargo, todavía demasiado alta como para que estos se pudieran combinar y formaran núcleos atómicos, y mucho menos para que se llegaran a formar átomos completos. La última fracción de estos 10^{-5} segundos se denomina la