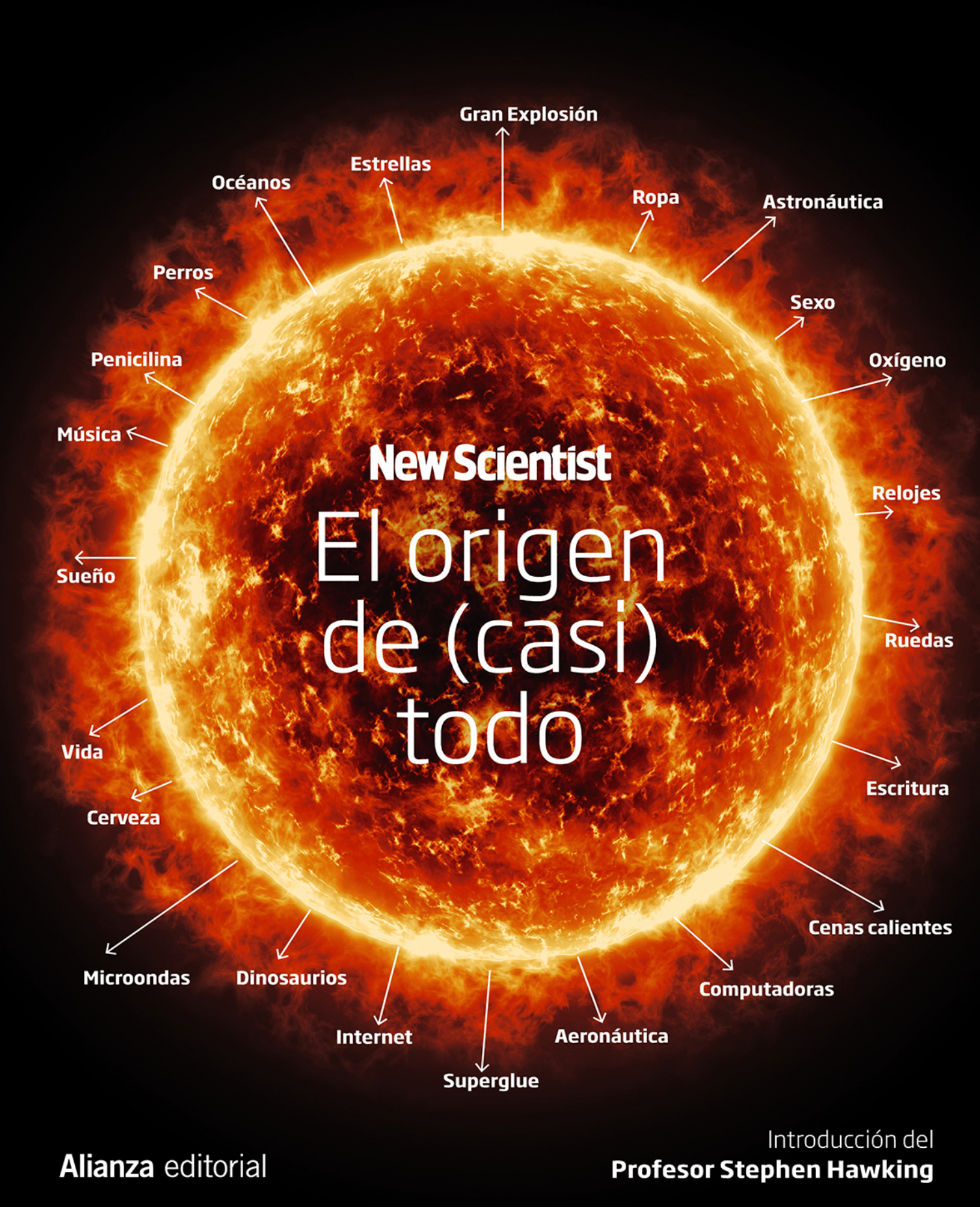


New Scientist

El origen de (casi) todo

Introducción del
Profesor Stephen Hawking

Alianza editorial

El origen de (casi) todo

Graham Lawton
Tras graduarse en bioquímica y realizar un posgrado en ciencias de la comunicación en el Imperial College, Graham Lawton aterrizó en *New Scientist*, donde ha permanecido casi todo el siglo XXI, primero como editor de contenidos, y en la actualidad como editor ejecutivo. Su producción escrita y editorial ha recibido varios galardones.

Jennifer Daniel
Jennifer Daniel es una ilustradora y autora que colabora con regularidad con el *New York Times* y el *New Yorker,* y realiza animaciones e ilustraciones para diversas casas editoriales. Es directora creativa en Google, antigua editora gráfica del *New York Times* y ha sido reconocida con numerosos y distinguidos premios por su trabajo en narrativa gráfica.

El origen de (casi) todo

New Scientist

Textos de
Graham Lawton

Ilustraciones de
Jennifer Daniel

Traducción del inglés de Dulcinea Otero-Piñeiro
Revisión a cargo de David Galadí-Enríquez

Contenidos

Introducción 6
Prólogo 8
1 El universo 10
2 Nuestro planeta 38
3 Vida 70
4 Civilización 118
5 Conocimiento 166
6 Inventos 198
Lecturas adicionales 246
Agradecimientos 249
Índice alfabético 250

Introducción
Profesor Stephen Hawking

La existencia: ¿de dónde venimos?

¿Por qué estamos aquí? ¿De dónde venimos? De acuerdo con el pueblo Boshongo de África central, antes de nosotros lo único que existía era oscuridad, agua y el gran dios Bumba. Un buen día Bumba, aquejado de un dolor de estómago, vomitó el Sol. El Sol evaporó parte del agua y eso dejó al descubierto la tierra firme. Aún con ciertas molestias, Bumba vomitó la Luna, las estrellas y, después, el leopardo, el cocodrilo, la tortuga y, por último, los humanos.

Este mito de la creación, al igual que muchos otros, lidia con la clase de preguntas que aún nos hacemos hoy en día. Por suerte, tal como veremos aquí, ahora contamos con una herramienta para obtener respuestas: la ciencia.

La primera prueba científica para resolver estos misterios de la existencia se detectó en la década de 1920, cuando Edwin Hubble empezó a realizar observaciones con un telescopio desde el monte Wilson de California. Para su sorpresa, Hubble descubrió que casi todas las galaxias se alejan de nosotros. Es más, cuanto más distaban las galaxias, más rápido se alejaban. La expansión del universo fue uno de los hallazgos más relevantes de todos los tiempos.

Esta constatación transformó el debate sobre si el universo tuvo un comienzo. Si las galaxias se están alejando en la actualidad, tuvieron que estar más juntas en el pasado. Y, en caso de haber llevado una velocidad constante, todas ellas habrían estado agolpadas unas sobre otras hace miles de millones de años. ¿Fue así como empezó el universo?

Por entonces muchos científicos se mostraron descontentos con la idea de que el universo tuviera un comienzo, porque parecía implicar que la física se desmoronaba. Habría que apelar a un agente externo que, por razones prácticas, cabría llamar dios, para explicar cómo empezó el universo. Así que lanzaron teorías en las que el universo se expandía en el momento presente, pero sin tener un comienzo.

Tal vez la más conocida fue la que se propuso en 1948. Se llamó la teoría del estado estacionario, y postulaba que el universo había existido siempre y habría tenido siempre el mismo aspecto. Esta última propiedad tenía la gran virtud de que admitía la comprobación de esa predicción, un ingrediente esencial del método científico. Y se reveló falsa.

Los indicios observacionales para confirmar la idea de que el universo tuvo un comienzo muy denso llegaron en octubre de 1965, con el hallazgo de un tenue fondo de microondas en todo el espacio. La única interpretación razonable es que ese «fondo cósmico de microondas» es la radiación que queda de un estado primigenio caliente y denso. A medida que el universo se expandió, la radiación se fue enfriando hasta quedar convertida en el remanente que detectamos hoy.

La teoría no tardó en respaldar esta idea. Junto a Roger Penrose, de la Universidad de Oxford, yo mismo evidencié que si la teoría general de la relatividad de Einstein es correcta, entonces habría una singularidad, un punto en el que tanto la densidad como la curvatura espaciotemporal habrían sido infinitas, y en el que el tiempo tuvo un comienzo.

El universo empezó con la Gran Explosión *(Big Bang)* y se expandió con rapidez. Esto recibe el nombre de inflación y ocurrió a una velocidad extrema: en una fracción insignificante de segundo el universo dobló muchas veces su tamaño.

La inflación hizo el universo muy grande, muy uniforme y muy plano. Sin embargo, no era completamente uniforme: contenía irregularidades minúsculas de un lugar a otro, y estas irregularidades dieron lugar, con el tiempo, a galaxias, estrellas y sistemas solares.

Debemos nuestra existencia a estas irregularidades. Si el universo primigenio hubiera sido completamente uniforme, no existirían las estrellas y, por tanto, la vida no habría podido desarrollarse. Somos producto de fluctuaciones cuánticas primordiales.

Tal como veremos, quedan aún muchos grandes misterios, pero cada vez nos acercamos más a la resolución de las preguntas ancestrales: ¿De dónde venimos? Y, ¿somos los únicos seres del universo capaces de plantearse estas preguntas?

Prólogo

Siempre me han fascinado los orígenes. De niño solía ir a la costa de Yorkshire con mi madre, mi padre y mi hermana. En sus acantilados desenterrábamos fósiles de amonites, belemnites y bivalvos, y yo me preguntaba: ¿De dónde salieron? ¿Cómo era la Tierra cuando vivían estos animales?

Pero el mundo natural no fue lo único que me llevó a preguntarme de dónde vienen las cosas. Me recuerdo viendo la televisión (seguramente en blanco y negro en aquellos días, pero aún así un prodigio de la técnica) y pensando: ¿Quién inventaría esto? No consigo entender cómo ha podido alguien crear una caja con una pantalla que proyecta imágenes de lugares lejanos. Si me dieran a mí las piezas, pensaba, jamás lograría componer algo así.

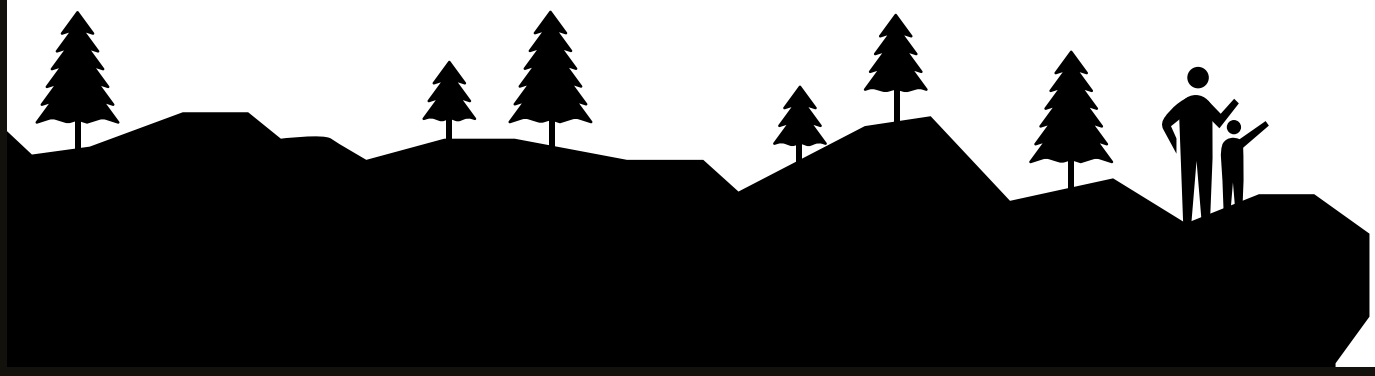
Cuando me convertí en periodista científico veinte años atrás, me di cuenta del poder que ejercen en nuestra imaginación las historias sobre nuestros orígenes. «¿De dónde venimos?» es una de las preguntas más profundas y fundamentales que nos hacemos. (Las otras son «¿cómo deberíamos vivir?» y «¿hacia dónde vamos?», pero estas las dejamos para otro día). Estoy convencido de que parte de la naturaleza humana consiste en ver algo, o plantearnos algún interrogante existencial, y decir: ¿cómo empezó eso a existir?

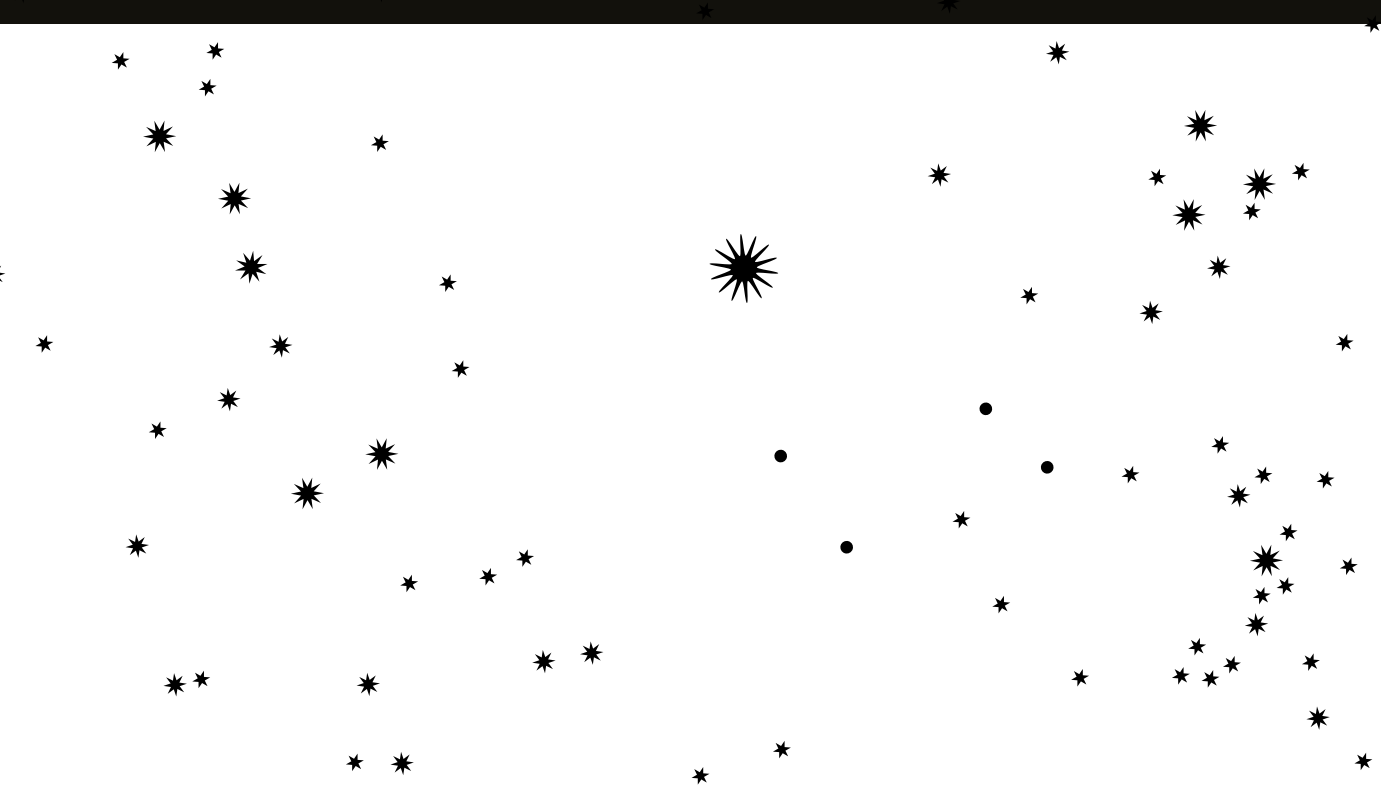
Todas las sociedades conocidas tienen historias sobre el origen del cosmos y sus habitantes. El mito más antiguo de la creación del que se tienen registros es el de *Enûma Elish*, escrito en tablillas de arcilla de 2.700 años de antigüedad, en la Babilonia de la Edad de Bronce. Pero es seguro que las historias sobre orígenes son anteriores a esa fecha, y se remontan al menos a 40.000 años atrás, cuando nuestros ancestros se convirtieron en lo que se conoce como humanos de comportamiento moderno. Por lo que sabemos, tenían una mente idéntica a la nuestra. Eso significa que poseían la capacidad de realizar viajes mentales en el tiempo, la habilidad de proyectarse hacia el pasado y el futuro, lo que les permitía trascender el aquí y el ahora, e incluso el intervalo temporal de su propia existencia, para contemplar el pasado distante y el futuro lejano. También ellos, como nosotros, tuvieron que preguntarse de dónde salió todo.

Puede que hasta se remonte más atrás. Tal vez incluso nuestros primerísimos ancestros tuvieran un mito sobre el origen de todo, una historia de un millón de años de antigüedad transmitida en protolenguaje por *Homo erectus* sentados alrededor de una hoguera. Sí, hasta las historias sobre orígenes precisan un origen.

Por supuesto, los creadores de estas historias antiguas no tenían mucho en lo que basarse: tan solo sus experiencias inmediatas y su imaginación. Con mucha frecuencia recurrían a explicaciones sobrenaturales. El mito de la creación de nuestra propia cultura, el *Libro de Génesis*, es una de estas historias. En realidad da dos explicaciones a la cuestión: primero el conocido mito de la creación en seis días, y luego una versión algo diferente y un tanto contradictoria, lo cual quizá sea una forma de admitir tácitamente que nunca lo sabremos con seguridad, aunque tenemos que intentarlo.

Pero al introducir el poder del método científico, los viajes mentales en el tiempo se convierten en un





instrumento de precisión. Podemos usar telescopios para escudriñar el universo primigenio, y desplegar las matemáticas para comprender sus propiedades. De hecho, rebobinar el reloj de esta manera nos ha llevado muy lejos, casi hasta los comienzos del universo en sí, tal como explica Stephen Hawking en su introducción.

Paralelamente, las ciencias tradicionales (la geología, la biología evolutiva y la cosmología) permiten reconstruir los acontecimientos acaecidos mucho antes de que existieran los humanos, y remontarnos hasta lo que se conoce como «el pasado remoto»: la aparición del Sistema Solar, el origen de la vida, la evolución de nuestra propia especie, y mucho más. La arqueología y la historia nos ayudan a comprender nuestro propio pasado y el origen de cosas de las que los humanos somos directamente responsables: desde las primeras innovaciones, como los alimentos cocinados, hasta la tecnología moderna, como Internet.

El origen de (casi) todo es una recopilación de historias de «orígenes» reveladas a través de la mirada científica. Aúna lo más importante, interesante e inesperado en 53 capítulos breves realzados por las frescas y a menudo divertidas infografías de Jennifer Daniel.

Cuando empecé a confeccionar una lista de ideas para este libro vi con claridad que algunas eran ineludibles, como la Gran Explosión *(Big Bang)*, el origen de la vida y la evolución humana. El surgimiento de la civilización humana fue otro filón. Quince mil años atrás nuestros ancestros eran cazadores-recolectores nómadas; ahora vivimos en casas, compramos en supermercados y viajamos en máquinas. ¿Cómo ocurrió?

Otras ideas eran menos obvias, y agradezco a mis brillantes compañeros de *New Scientist* y a John Murray la proposición de algunos de los temas más inesperados: el cero, el suelo y la higiene personal son algunos de mis favoritos. Al final reunimos demasiado material para comprimirlo en un solo libro. La lista de ideas que no pasaron el corte es larga, e incluye el origen del críquet y del helado *Viennetta*, por nombrar tan solo dos. Quizás algún día me dé por escribir *El origen de (casi) todo lo demás*.

Pero basta de viajes mentales en el tiempo. Estoy muy orgulloso de este libro. Para mí ha sido un viaje de descubrimiento, y espero que también lo sea para ti. Muchas de las historias que contiene cambiaron y evolucionaron mientras trabajábamos en el libro, a medida que salían a la luz descubrimientos nuevos. Esta es la estimulante belleza de la ciencia.

Mi único lamento es que el subtítulo con el que trabajamos no aparece en la cubierta (por si tienes curiosidad, era «De la Gran Explosión a las pelusas del ombligo», lo cual creo que transmite una idea de diversidad). Formalmente el proyecto cobró vida durante una lluvia de ideas entre *New Scientist* y John Murray, pero yo prefiero pensar que su verdadero origen está en una playa de Yorkshire, dentro de la mente de un niño pequeño inspirado por las maravillas de la naturaleza.

Parece que vuelvo a la carga viajando en el tiempo para intentar desentrañar dónde empezó algo. Somos incorregibles.

Graham Lawton
Londres, mayo de 2016

Capítulo 1

El universo

14
Materia, espacio
y tiempo

18
Estrellas
y galaxias

22
Elementos
químicos

30
Materia oscura
y energía
oscura

26
Meteoritos

34
Agujeros
negros

¿Cómo empezó todo?

El universo es grande. Muy grande. Y, sin embargo, si nuestra teoría sobre su origen es correcta, entonces el universo fue una vez pequeño. Muy, muy pequeño. De hecho, en cierto momento fue inexistente. Hace unos 13.800 millones de años, la materia, la energía, el tiempo y el espacio surgieron espontáneamente de la nada en un suceso que conocemos como la Gran Explosión *(Big Bang)*.

¿Cómo sucedió? O, dicho de otra manera: ¿cuál es el origen de todo?

Esta es la quintaesencia de los misterios relacionados con los orígenes. Para la mayoría de la gente a lo largo de la historia, la única respuesta creíble fue «Dios lo hizo». Durante mucho tiempo, incluso la ciencia eludió la cuestión. A comienzos del siglo xx, los físicos en general creían que el universo era infinito y eterno. El primer signo de que no era así llegó en 1929, cuando Edwin Hubble descubrió que las galaxias se están alejando unas de otras cual metralla tras una explosión.

La conclusión lógica fue que el universo tenía que estar expandiéndose y, por tanto, tuvo que ser más pequeño en el pasado. Al imaginar la expansión retrocediendo en el tiempo, como al rebobinar una película, la comunidad astronómica llegó a la otra conclusión lógica, si bien bastante extraña: el universo tuvo que tener un comienzo.

El comienzo definitivo

Al principio, muchos científicos se mostraron descontentos ante la idea de que hubiera un comienzo absoluto, así que propusieron explicaciones alternativas que no requirieran uno. La del universo en estado estacionario, tal vez la más conocida, se planteó en 1948. De acuerdo con esta hipótesis, el universo habría existido siempre y siempre habría tenido el mismo aspecto. La comunidad astronómica enseguida encontró maneras de poner a prueba esta afirmación y resultó ser deficiente. Algunos objetos celestes, como los cuásares, solo se han detectado a grandes distancias de nosotros, lo que sugiere que el universo *no* siempre tuvo el mismo aspecto. Sin embargo, los defensores del estado estacionario consiguieron dejar una huella duradera al legarnos la expresión *Gran Explosión (Big Bang)*, acuñada por primera vez como fórmula sarcástica y de menosprecio.

El golpe de gracia llegó en 1965 con el hallazgo casual del tenue fulgor de radiación que permea todo el espacio. Este fondo cósmico de microondas se interpretó como lo que queda del «resplandor» de un universo mucho más caliente y más denso que el actual.

Estas observaciones recibieron con rapidez el respaldo de la teoría. Stephen Hawking y Roger Penrose evidenciaron que si la relatividad general es correcta,

Alternativas a la Gran Explosión

La Gran Explosión es la teoría imperante sobre el origen del universo, pero no es la única que existe. Una alternativa es que en lugar de una explosión, se produjera un rebote. En tal caso, al remontarnos hacia atrás en la historia del universo llegamos hasta unos comienzos increíblemente calientes y densos y pasaríamos al otro lado, al final increíblemente caliente y denso de un universo anterior. Otra posibilidad es que la explosión fuera una más entre muchas. De acuerdo con la teoría del multiverso, este universo no es más que una burbuja dentro de una espuma bullente de universos. Sin embargo, ambas ideas sugieren que el universo no tuvo un comienzo, lo cual resulta más difícil de concebir que el mero hecho de que emergiera a la existencia.

La Gran Explosión o el gran rebote: ¿el comienzo de todo o el regreso de un universo previo?

entonces tuvo que haber un tiempo en el que el universo fuera infinitamente pequeño y denso, un instante en el que empezó a existir el propio tiempo.

La Gran Explosión es ahora la teoría más aceptada dentro de la ciencia. Los cosmólogos creen que pueden seguir la evolución del universo desde una fracción de segundo después de su aparición hasta el momento actual, lo que incluiría un breve periodo de expansión trepidante llamada inflación y el nacimiento de las primeras estrellas. En cambio, el verdadero instante de su creación sigue generando mucha especulación. En ese punto nuestras teorías de la realidad empiezan a desmoronarse. Para avanzar necesitamos averiguar cómo reconciliar la relatividad general con la teoría cuántica. Pero, a pesar de varias décadas de ardua labor intelectual, los físicos siguen atascados en este punto. Con todo, sí tenemos cierta idea de cómo responder la acuciante cuestión que reside en el mismo centro de la Gran Explosión:

¿Cómo obtener algo a partir de nada?

Esta es una pregunta muy razonable, puesto que un poco de física básica sugiere que la existencia del universo es altamente improbable. La segunda ley de la termodinámica dice que el desorden, o la entropía, siempre tiende a aumentar con el paso del tiempo. La entropía mide la cantidad de maneras en que se pueden reorganizar las partes de un sistema sin cambiar su aspecto global. Las moléculas de un gas caliente, por ejemplo, se pueden disponer de muchas formas distintas para crear la misma temperatura y presión general, así que el gas es un sistema de alta entropía. En cambio, las moléculas de un ente vivo no se pueden reorganizar mucho sin transformarlo en un ente no vivo, lo cual nos convierte en sistemas de baja entropía.

Con esta misma lógica, la nada es el estado de mayor entropía que existe; puedes reordenarla como quieras y seguirá teniendo aspecto de nada.

A partir de esta ley, es difícil inferir cómo la nada pudo convertirse una vez en algo y, no digamos ya, en un universo. Pero la entropía solo es una parte de la historia. La otra parte es una cualidad que en física se denomina simetría (que no es exactamente lo mismo que la simetría cotidiana que asociamos con las formas). En física, una cosa es simétrica si puedes hacerle algo de tal modo que, al terminar, tenga el mismo aspecto que al principio. De acuerdo con esta definición, la nada es completamente simétrica: puedes hacerle lo que quieras y seguirá siendo nada.

Según se ha sabido en física, las simetrías se han hecho para romperlas y, cuando se rompen, ejercen una influencia enorme en el universo.

De hecho, la teoría cuántica nos dice que no existe el vacío. Su perfecta simetría sería demasiado perfecta para durar, y un caldo agitado de partículas que saltan dentro y fuera de la existencia se encarga de romperla.

Esto conduce a la conclusión, contraria a la intuición, de que, a pesar de la entropía, el algo es un estado más natural que la nada. En este sentido, todo en nuestro universo consiste tan solo en excitaciones del vacío cuántico.

¿Podría algo similar ser el responsable real del origen del universo en sí? Es muy posible. Tal vez la Gran Explosión no fuera más que la nada experimentando lo que sucede de manera natural: una fluctuación cuántica que causó el salto a la existencia de todo un universo.

Fuera del espacio y el tiempo

Como es natural, esto plantea el interrogante de qué había antes de la Gran Explosión, y cuánto tiempo duró ese estado de cosas. Por desgracia, en este punto los conceptos del sentido común, como el de *antes*, dejan de tener sentido.

Pero también genera una pregunta más difícil aún. Esta interpretación de la creación se basa en la validez de las leyes de la física. Pero eso implica que esas leyes existían de algún modo antes de que surgiera el propio universo.

¿Cómo es posible que las leyes físicas existan fuera del espacio y del tiempo y sin una causa propia? O, dicho de otra manera, ¿por qué hay algo en lugar de nada?

¿Se puede distinguir el algo…

En realidad, no se puede. No hay ninguna diferencia entre ambos. La teoría cuántica dice que la nada no puede existir; siempre dará lugar a algo, tal vez a un universo. De hecho, eso podría explicar la Gran Explosión. Si sumas toda la materia y la energía del universo (incluyendo la gravitación, que tiene energía negativa), obtienes cero. Todo el universo está hecho de… nada.


... de la nada?

¿Por qué brillan las estrellas?

Contempla el firmamento nocturno y estarás viendo el pasado. La luz procedente de Sirio A, la estrella más brillante del cielo, tarda unos ocho años y medio en atravesar el espacio interestelar que la separa de la Tierra. La estrella más lejana apreciable a simple vista, Deneb, se encuentra a 2.600 años-luz de distancia. Nadie sabe si siguen existiendo aún.

Si miramos más lejos nos remontamos todavía más en el tiempo. En 2012 el telescopio espacial *Hubble* publicó una imagen llamada Campo Profundo eXtremo compuesta a partir de la acumulación de la luz tenue procedente de una región minúscula del cielo durante 23 días. Estaba adornada por galaxias distantes, algunas de ellas tan lejanas que emitieron la luz que vemos cuando el universo tenía tan solo quinientos millones de años de edad.

Ahora se acepta en términos generales que el universo empezó a existir como una bola de fuego increíblemente pequeña, densa y caliente de materia y energía. Aquel universo no contenía estrellas ni galaxias, y no lo haría durante otros 500 millones de años.

La galaxia más antigua que conocemos es EGSY8p7, surgida unos 600 millones de años después de la Gran Explosión. Otros quinientos millones de años después, el universo estaba ya lleno de galaxias, cada una de ellas formada por cientos de miles de millones de estrellas. ¿Cómo se pasó de un extremo al otro?

Para responder esta pregunta hay que remontarse muy atrás, a un instante tan solo 3×10^{-44} segundos posterior a la Gran Explosión. Fue entonces cuando comenzó la inflación, una fracción de milisegundo durante la cual el universo se expandió de forma exponencial.

Hinchado como un globo

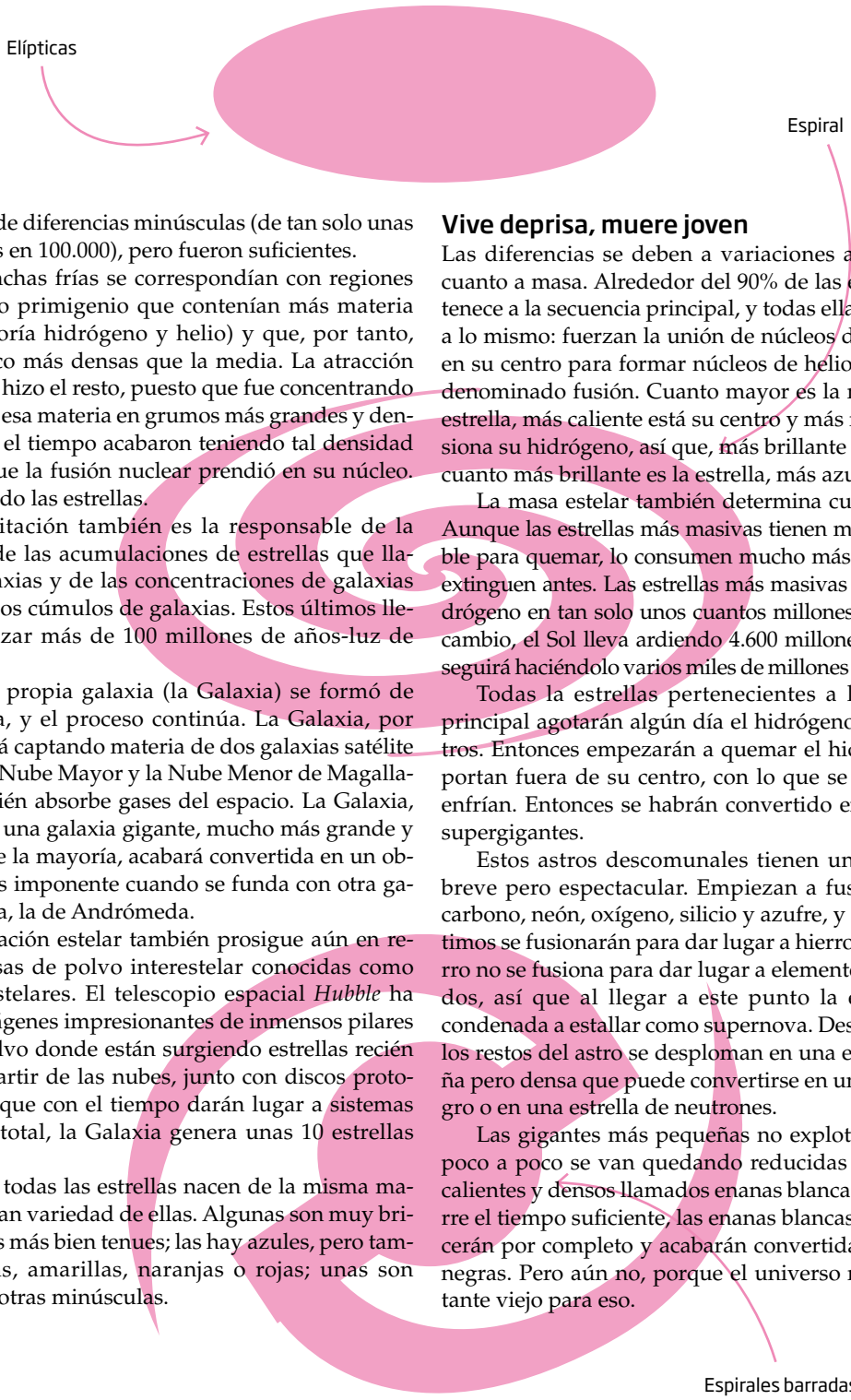
Con la inflación el universo pasó de ser un nudo de materia bullente, agitada, a algo mucho más uniforme y más homogéneo, de manera parecida a cuando se infla un globo arrugado. Sin embargo, aquello no dio lugar a una uniformidad absoluta: había variaciones minúsculas de un lugar a otro, los restos estirados de las fluctuaciones cuánticas que habían causado la Gran Explosión. Cuando acabó la inflación, el universo siguió expandiéndose a un ritmo mucho más lento, lo que siguió elongando aún más las variaciones. Estas fueron las semillas a partir de las cuales surgieron estrellas y galaxias.

Sabemos todo esto a partir de las observaciones de la radiación cósmica de fondo, un fulgor tenue de microondas que permea todo el espacio y que suele describirse como el «resplandor» de la Gran Explosión. En un principio, el fondo cósmico de microondas parecía tener la misma temperatura en todas partes: unos gélidos 2,7 °C por encima del cero absoluto. Pero en 1992 el satélite *COBE* (Cosmic Background Explorer) de la NASA lo cartografió en detalle y detectó regiones donde era ligeramente más frío que la media, y otras donde era ligeramente más caliente.

Creadas por un agujero negro

En general, se cree que las galaxias se concentran poco a poco bajo el influjo de la gravitación, pero cabe una posibilidad alternativa y mucho más espectacular. Puede que surjan a partir de chorros de materia de alta energía que se estrellan contra nubes de gas. Los chorros salen de cuásares, objetos de una luminosidad extrema que se creen alimentados por agujeros negros supermasivos. Si así fuera, significaría que los agujeros negros supermasivos detectados en los núcleos de la mayoría de las galaxias son los arquitectos de su entorno, en lugar de productos resultantes de él.

Hay tres tipos básicos de galaxias



Se trata de diferencias minúsculas (de tan solo unas pocas partes en 100.000), pero fueron suficientes.

Las manchas frías se correspondían con regiones del universo primigenio que contenían más materia (en su mayoría hidrógeno y helio) y que, por tanto, eran un poco más densas que la media. La atracción gravitatoria hizo el resto, puesto que fue concentrando poco a poco esa materia en grumos más grandes y densos que con el tiempo acabaron teniendo tal densidad y tamaño que la fusión nuclear prendió en su núcleo. Habían nacido las estrellas.

La gravitación también es la responsable de la formación de las acumulaciones de estrellas que llamamos galaxias y de las concentraciones de galaxias que llamamos cúmulos de galaxias. Estos últimos llegan a alcanzar más de 100 millones de años-luz de ancho.

Nuestra propia galaxia (la Galaxia) se formó de esta manera, y el proceso continúa. La Galaxia, por ejemplo, está captando materia de dos galaxias satélite cercanas, la Nube Mayor y la Nube Menor de Magallanes, y también absorbe gases del espacio. La Galaxia, ya de por sí una galaxia gigante, mucho más grande y brillante que la mayoría, acabará convertida en un objeto aún más imponente cuando se funda con otra galaxia cercana, la de Andrómeda.

La formación estelar también prosigue aún en regiones densas de polvo interestelar conocidas como criaderos estelares. El telescopio espacial *Hubble* ha captado imágenes impresionantes de inmensos pilares de gas y polvo donde están surgiendo estrellas recién nacidas a partir de las nubes, junto con discos protoplanetarios que con el tiempo darán lugar a sistemas solares. En total, la Galaxia genera unas 10 estrellas cada año.

Aunque todas las estrellas nacen de la misma manera, hay gran variedad de ellas. Algunas son muy brillantes, otras más bien tenues; las hay azules, pero también blancas, amarillas, naranjas o rojas; unas son inmensas y otras minúsculas.

Vive deprisa, muere joven

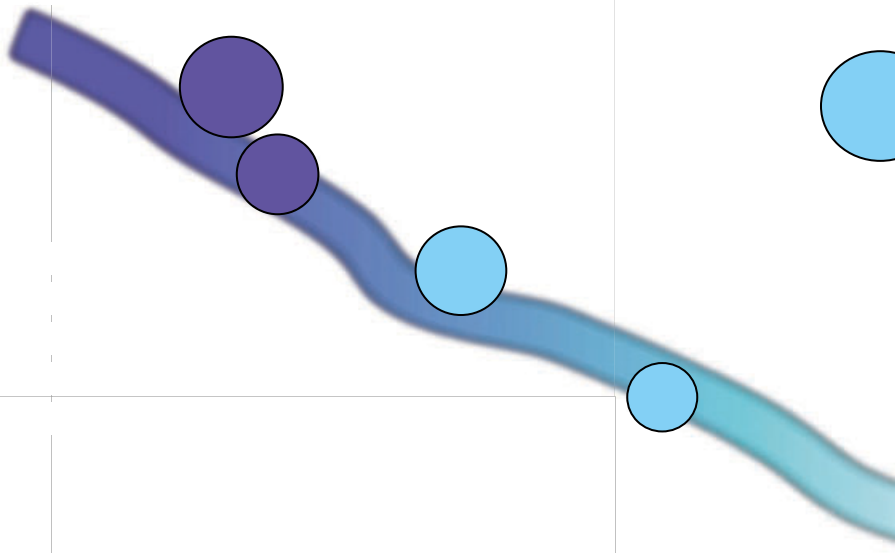
Las diferencias se deben a variaciones aleatorias en cuanto a masa. Alrededor del 90% de las estrellas pertenece a la secuencia principal, y todas ellas se dedican a lo mismo: fuerzan la unión de núcleos de hidrógeno en su centro para formar núcleos de helio, un proceso denominado fusión. Cuanto mayor es la masa de una estrella, más caliente está su centro y más rápido se fusiona su hidrógeno, así que, más brillante es el astro. Y cuanto más brillante es la estrella, más azul es.

La masa estelar también determina cuánto durará. Aunque las estrellas más masivas tienen más combustible para quemar, lo consumen mucho más deprisa y se extinguen antes. Las estrellas más masivas agotan el hidrógeno en tan solo unos cuantos millones de años. En cambio, el Sol lleva ardiendo 4.600 millones de años, y seguirá haciéndolo varios miles de millones de años más.

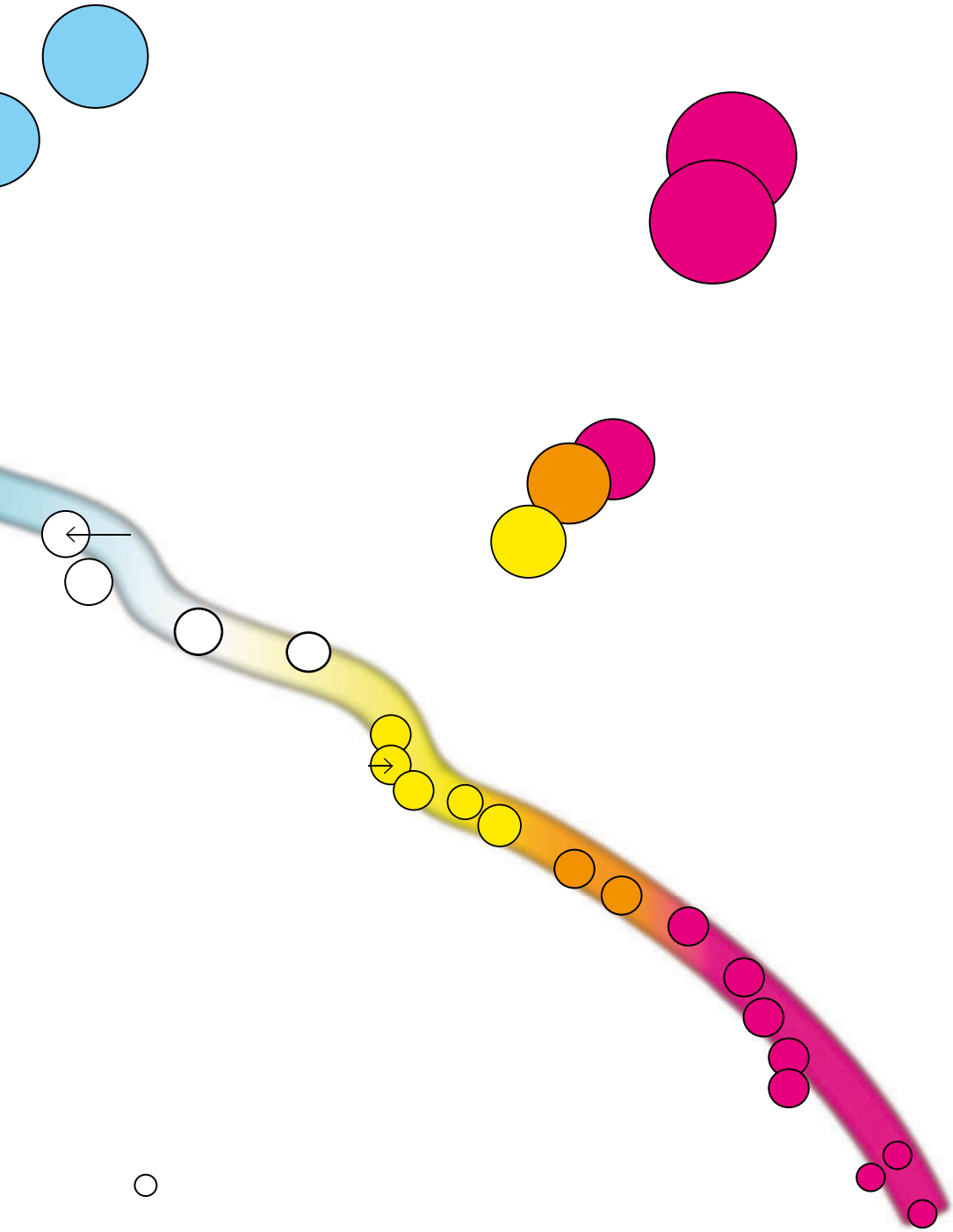
Todas la estrellas pertenecientes a la secuencia principal agotarán algún día el hidrógeno de sus centros. Entonces empezarán a quemar el hidrógeno que portan fuera de su centro, con lo que se expanden y enfrían. Entonces se habrán convertido en gigantes o supergigantes.

Estos astros descomunales tienen una existencia breve pero espectacular. Empiezan a fusionar helio, carbono, neón, oxígeno, silicio y azufre, y estos dos últimos se fusionarán para dar lugar a hierro. Pero el hierro no se fusiona para dar lugar a elementos más pesados, así que al llegar a este punto la estrella está condenada a estallar como supernova. Después de eso, los restos del astro se desploman en una esfera pequeña pero densa que puede convertirse en un agujero negro o en una estrella de neutrones.

Las gigantes más pequeñas no explotan, sino que poco a poco se van quedando reducidas a fantasmas calientes y densos llamados enanas blancas. Si transcurre el tiempo suficiente, las enanas blancas se desvanecerán por completo y acabarán convertidas en enanas negras. Pero aún no, porque el universo no es lo bastante viejo para eso.



TEMPERATURA EN AUMENTO



TEMPERATURA EN DESCENSO

¿De qué está hecha la materia?

Imagina que el día que cumples un año te hacen un extraño regalo: un frasco con gas hidrógeno. Al año siguiente te regalan algo de helio, y en tu tercer cumpleaños te obsequian con un trozo de litio. El día que cumples veintiún años te conviertes en el orgulloso dueño de algo de escandio. En tu cuarenta cumpleaños recibes un trozo cristalino de circonio. Si llegas a los noventa y dos años recibirás uranio. Pero para completar la colección, tendrías que vivir mucho más.

Hasta los ciento dieciocho años, para ser exactos. Esos son todos los elementos químicos que conocemos: un revoltijo de sólidos, líquidos, gases, metales y no metales, algunos raros, otros muy comunes, unos útiles y otros no. Son los componentes esenciales de la química y de la vida. ¿De dónde salieron?

Lo más fácil es decir que salieron de la Gran Explosión. Pero no es una respuesta satisfactoria, puesto que la Gran Explosión en sí solo generó los tres elementos más ligeros: hidrógeno, helio y trazas de litio. ¿Qué hay del resto?

Una respuesta completa exige saber de qué están formados los átomos y algo de aritmética elemental. El átomo más simple es el del hidrógeno, formado por un protón y un electrón. Los siguientes más simples son el deuterio y el tritio, que son hidrógeno más un neutrón o dos. Les sigue el helio, con dos de cada tipo. Después va el litio, con tres. El sentido común insta a pensar que los elementos más grandes pueden surgir mediante la fusión de otros menores. Y así es exactamente como se forman.

La gran compresión

Pero no es tan sencillo. Estas reacciones son difíciles porque los dos núcleos necesitan una cantidad inmensa de energía para fusionarse. Esto requiere unas temperaturas astronómicas: un mínimo de 10 millones de grados Celsius. Solo hay dos lugares en el universo que reúnen las condiciones necesarias: un instante poco posterior a la Gran Explosión y el interior de las estrellas.

La primera fase de creación de elementos ocurrió muy poco después de la Gran Explosión, en un proceso denominado nucleosíntesis. En una centésima de segundo se condensaron protones, neutrones y electrones a partir de la bola de fuego. Unos segundos después, los protones y neutrones empezaron a sumar fuerzas, empujados a unirse por la inmensa energía de la bola de fuego, y anclados mutuamente por la fuerza nuclear. Estas reacciones de fusión formaron en un principio núcleos de deuterio que luego reaccionaron con más protones para producir el núcleo estable del helio.

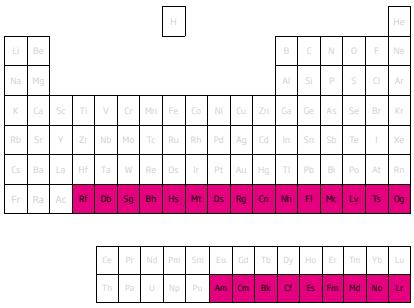
Pero eso fue todo. Para cuando apareció el helio, la temperatura había caído demasiado para que siguiera produciéndose la fusión en niveles apreciables. Es pro-

Heavy metal

Los elementos más pesados que el uranio no se conocieron en la Tierra hasta comienzos de la década de 1940, cuando los químicos crearon plutonio y neptunio bombardeando uranio con neutrones. Desde entonces se han sintetizado en laboratorio 24 *elementos transuránicos* más. El más grande hasta el momento es el oganesón, el elemento 118.

Los elementos transuránicos suelen considerarse completamente artificiales, pero no es cierto. Se crean en explosiones de supernova, igual que los elementos pesados convencionales. Lo que ocurre es que son inestables y tienden a deshacerse pronto. Los que surgieron de manera natural se han desintegrado por completo desde la formación del Sistema Solar, por eso no existen en la Tierra fuera de los laboratorios.

95 americio, Am
96 curio, Cm
97 berkelio, Bk
98 californio, Cf
99 einsteinio, Es
100 fermio, Fm
101 mendelevio, Md
102 nobelio, No
103 lawrencio, Lr
104 rutherfordio, Rf
105 dubnio, Db
106 seaborgio, Sg
107 bohrio, Bh
108 hassio, Hs
109 meitnerio, Mt
110 darmstatio, Ds
111 roentgenio, Rg
112 copernicio, Cn
113 nihonio, Nh*
114 flerovio, Fl
115 moscovio, Mc*
116 livermorio, Lv
117 teneso, Ts*
118 oganesón, Og*



* nombre provisional

bable que se formara un poco de litio, pero nada más pesado que él. La nucleosíntesis finalizó casi en cuanto empezó.

Unos 377.000 años después, la actividad se reanudó. La temperatura cayó hasta unos 3.000 ºC (lo bastante fría como para que hubiera átomos). Los núcleos de hidrógeno y helio absorbieron electrones libres y formaron los primeros átomos completos, los elementos 1 y 2. Aunque estos conforman aún más del 99% del universo visible, no son sus únicos componentes. Para crear los elementos más pesados, más interesantes, se necesitan estrellas.

Una estrella se forma cuando una gran masa de gas se contrae bajo su propia gravedad. La compresión eleva la temperatura en el centro hasta tal punto que los núcleos pueden empezar a fusionarse. La primera reacción, a unos 10 millones de grados Celsius, es la fusión de núcleos de hidrógeno para dar lugar a helio hasta que se agota el hidrógeno.

La fusión sigue

Lo que ocurra después dependerá de la masa de la estrella. Si es más bien pequeña, la fusión cesa y el núcleo se convierte sin más en una enana blanca. Pero si tiene una masa ocho veces mayor que la del Sol, la fusión continúa. Los núcleos de helio se combinan y dan lugar a berilio (elemento 4), el cual reacciona con más helio para generar carbono y oxígeno. En las estrellas más masivas, el núcleo alcanza una temperatura tan elevada que el carbono y el oxígeno prosiguen con la fusión y forman elementos tan pesados como el hierro (elemento 26). Entonces las reacciones cesan, porque el hierro tiene el núcleo más estable de todos los elementos y en esas condiciones no puede fusionarse. Pero en las capas externas de la estrella se producen otras reacciones nucleares que implican la captura de neutrones y generan gradualmente núcleos aún mayores, hasta llegar al bismuto (elemento 83).

Cuando se forma hierro en el núcleo, el astro entra en tiempo de descuento. Ya no puede producir energía mediante fusión, pero la gravedad es implacable: sigue comprimiendo el núcleo, lo que eleva la temperatura hasta miles de millones de grados. El centro de la estrella se desploma de repente: las capas externas caen, y luego rebotan y dispersan el contenido del astro por el espacio en una explosión de supernova. La explosión produce un flujo de neutrones que crea aún más elementos pesados, hasta llegar al uranio (elemento 92), el elemento natural más pesado que existe en la Tierra, y más allá. La supernova lanza escombros al espacio que con el tiempo acabarán incorporados a generaciones ulteriores de estrellas y planetas, incluido el nuestro.

Las excepciones que no tienen un origen estelar son el trío formado por el litio, el berilio y el boro. Sus núcleos son inestables y son consumidos de inmediato por las reacciones nucleares en el seno de las estrellas. Son elementos raros, pero (salvo en el caso del litio surgido de la Gran Explosión) lo poco que hay de ellos se cree que se formó a partir de rayos cósmicos (núcleos bastante grandes que viajan por el espacio a alta velocidad). Su energía también es tan elevada que cuando chocan contra otros átomos, los núcleos pueden romperse en fragmentos menores.

Dejando de lado los elementos artificiales, todos los átomos de la Tierra son, o bien restos de la Gran Explosión, o bien trozos de estrellas extintas hace mucho, o de rayos cósmicos. Y, con el tiempo, cuando muera nuestra propia estrella, podrán volver a lanzarse al espacio para volver a condensarse en un nuevo sistema solar. ¡Menudo regreso!