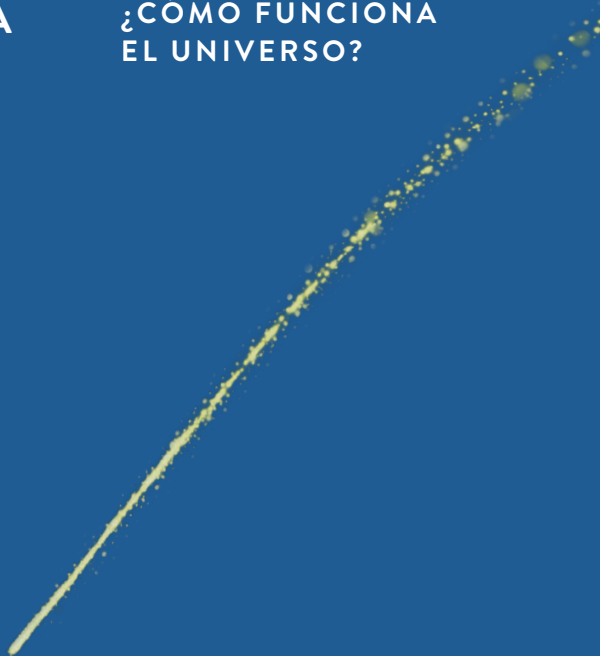


NEIL DEGRASSE TYSON

ASTROFÍSICA
PARA GENTE
CON PRISAS

¿CÓMO FUNCIONA
EL UNIVERSO?



PAIDÓS

NEIL DEGRASSE TYSON

ASTROFÍSICA PARA GENTE CON PRISAS

¿CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO?



Título original: *Astrophysics for People in a Hurry*, de Neil deGrasse Tyson
Publicado originalmente en inglés por W. W. Norton & Company

1.^a edición, noviembre de 2017

1.^a edición en esta presentación, junio de 2026

La lectura abre horizontes, iguala oportunidades y construye una sociedad mejor. La propiedad intelectual es clave en la creación de contenidos culturales porque sostiene el ecosistema de quienes escriben y de nuestras librerías. Al comprar este libro estarás contribuyendo a mantener dicho ecosistema vivo y en crecimiento. En **Grupo Planeta** agradecemos que nos ayudes a apoyar así la autonomía creativa de autoras y autores para que puedan seguir desempeñando su labor.

Dirígete a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesitas fotocopiar, escanear, distribuir o poner a disposición algún fragmento de esta obra (www.cedro.org; 91 702 19 70 / 93 272 04 45).

Queda expresamente prohibida la utilización o reproducción de este libro o de cualquiera de sus partes con el propósito de entrenar o alimentar sistemas o tecnologías de inteligencia artificial.

© Neil deGrasse Tyson, México, 2017

© Ediciones Culturales Paidós, S.A. de C.V., 2017

© de la traducción, María del Carmen Román de la Peña, 2017

© de todas las ediciones en castellano,

Editorial Planeta, S. A., 2026

Paidós es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

Avda. Diagonal, 662-664

08034 Barcelona, España

www.paidos.com

www.planetadelibros.com

ISBN: 978-84-493-4571-5

Fotocomposición: Realización Planeta

Depósito legal: B. 7.626-2026

Impreso en España – *Printed in Spain*



SUMARIO

<i>Prefacio</i>	11
1. La historia más grande jamás contada	15
2. Así en la Tierra como en el cielo	31
3. Hágase la luz	45
4. Entre las galaxias	59
5. Materia oscura	73
6. Energía oscura	93
7. El cosmos en el tablero	113
8. Ser redondo	133
9. Luz invisible	147
10. Entre los planetas	165
11. Exoplaneta Tierra	179
12. Reflexiones sobre la perspectiva cósmica ..	195
<i>Agradecimientos</i>	213
<i>Índice analítico y de nombres</i>	215

1

LA HISTORIA MÁS GRANDE
JAMÁS CONTADA



El mundo ha persistido por muchos años tras haber sido puesto en marcha con los movimientos apropiados. A partir de ellos se deduce todo lo demás.

LUCRECIO, c. 50 a.C.

En el principio, hace casi 14 mil millones de años, todo el espacio, toda la materia y toda la energía del universo conocido estaban contenidos en un volumen menor a una billonésima parte del punto con el que termina esta oración. La temperatura era tan elevada que las fuerzas de la naturaleza que conjuntamente describen el universo estaban unificadas. Aunque aún no se sabe cómo surgió, este minúsculo universo solo podía expandirse, rápidamente, en lo que hoy llamamos el big bang.

La teoría general de la relatividad de Einstein,

presentada en 1916, nos proporciona nuestra comprensión moderna de la gravedad, en la que la presencia de materia y energía curva el tejido del espacio y el tiempo que las rodea. En la década de 1920 se descubriría la mecánica cuántica, que proporcionaría nuestra explicación moderna sobre todo lo pequeño: moléculas, átomos y partículas subatómicas. Sin embargo, estas dos visiones de la naturaleza son formalmente incompatibles entre sí, lo que desató una carrera entre físicos para combinar la mecánica cuántica (la teoría de lo pequeño) con la teoría general de la relatividad (la teoría de lo grande) en una sola teoría de gravedad cuántica coherente. Aunque todavía no hemos llegado a la meta, sabemos exactamente dónde se encuentran los mayores obstáculos. Uno de ellos está en la *era de Planck* del universo temprano. Se trata del intervalo de tiempo de $t = 0$ hasta $t = 10^{-43}$ segundos (una diez millonésima billonésima billonésima billonésima de segundo) después del comienzo, y antes de que el universo creciera hasta los 10^{-35} metros (una cien mil millonésima billonésima billonésima de un metro) de ancho. El físico alemán Max Planck, de quien recibió su nombre esta inimaginablemente pequeña magnitud, introdujo la idea de la energía cuantizada en 1900, y es generalmente reconocido como el padre de la mecánica cuántica.

El choque entre gravedad y mecánica cuántica no representa problemas prácticos para el univer-

so contemporáneo. Los astrofísicos aplican los principios y herramientas de la relatividad general y la mecánica cuántica a muy diferentes tipos de problemas. Pero al principio, en la era de Planck, lo grande era pequeño, y suponemos que se debe de haber celebrado una boda forzosa entre los dos. Lamentablemente, los votos intercambiados durante la ceremonia siguen eludiéndonos, por lo que ninguna ley de la física (conocida) describe con certeza el comportamiento del universo en ese período.

No obstante, creemos que, hacia el final de la era de Planck, la gravedad se escabulló de las otras fuerzas de la naturaleza aún unificadas, obteniendo una identidad independiente bien descrita por nuestras actuales teorías. Cuando el universo alcanzó los 10^{-35} segundos de edad, continuó expandiéndose, diluyendo toda concentración de energía, y lo que quedaba de las fuerzas unificadas se dividió en *fuerzas electrodébiles* y *fuerzas nucleares fuertes*. Más adelante, la fuerza electrodébil se dividió en *fuerza electromagnética* y *fuerza nuclear débil*, dejando al descubierto las cuatro distintas fuerzas que hemos llegado a conocer y amar: la fuerza débil controla la desintegración radioactiva, la fuerza nuclear fuerte une el núcleo atómico, la fuerza electromagnética une moléculas y la gravedad une materia.

Ha pasado un billonésimo de segundo desde el comienzo.

Mientras tanto, la interacción de materia en forma de partículas subatómicas y de energía en forma de fotones (recipientes de energía luminosa carentes de masa que son tanto ondas como partículas) no cesaba. El universo estaba lo suficientemente caliente para que estos fotones espontáneamente convirtieran su energía en pares de partículas materia-antimateria, que inmediatamente después se aniquilaban, devolviendo su energía a los fotones. Sí, la antimateria es real. Y la descubrimos nosotros, no los escritores de ciencia ficción. Estas metamorfosis son totalmente explicadas por la ecuación más famosa de Einstein: $E = mc^2$, una receta bidireccional sobre el valor de la energía en materia y el valor de la materia en energía. c^2 es la velocidad de la luz al cuadrado, una cifra enorme que al multiplicarse por la masa nos recuerda cuánta energía se obtiene en este proceso.

Poco antes, durante y después de que la fuerza nuclear fuerte y las electrodébiles se separaran, el universo era un borboteante caldo de quarks, leptones y antimateria, además de bosones, las partículas que permiten sus interacciones. Se cree que ninguna de estas familias de partículas es divisible en algo menor o más básico, aunque cada una de ellas tiene distintas variedades. El fotón común es parte de la

familia de los bosones. Los leptones más conocidos para quienes no son físicos son los electrones y quizá los neutrinos; los quarks más conocidos son... bueno, en realidad no hay quarks conocidos. Cada una de sus seis subespecies recibió un nombre abstracto que no tiene ningún propósito filológico, filosófico o pedagógico, excepto distinguirlas de las otras: *arriba, abajo, extraño, encanto, cima y fondo*.

Por cierto, los bosones reciben su nombre del científico indio Satyendra Nath Bose. La palabra *leptón* proviene del griego *leptos*, que significa «ligero» o «pequeño». Sin embargo, *quark* tiene un origen literario y mucho más imaginativo. El físico Murray Gell-Mann, quien en 1964 planteó la existencia de los quarks como componentes internos de los neutrones y protones, y quien entonces creía que la familia de los quarks solo tenía tres miembros, sacó el nombre de una frase particularmente elusiva del libro de James Joyce *Finnegans Wake*: «¡Tres quarks para Muster Mark!». Algo que los quarks sí tienen a su favor es que todos sus nombres son sencillos, algo que químicos, biólogos y especialmente geólogos parecen incapaces de lograr al nombrar sus propias cosas.

Los quarks son bestias excéntricas. A diferencia de los protones, cada uno con una carga eléctrica de +1, y de los electrones, con carga de -1, los quarks tienen cargas fraccionarias que vienen en tercios. Y nunca encontrarás a un quark solo; siempre estará aferrándose a otros quarks cercanos. De hecho, la

fuerza que mantiene juntos a dos (o más) de ellos, en realidad se vuelve más fuerte cuanto más los separas, como si estuvieran unidos por un tipo de liga elástica subnuclear. Si separas los quarks lo suficiente, la liga elástica se rompe y, de acuerdo con $E = mc^2$, la energía almacenada crea un quark en cada extremo, dejándote igual que al principio.

Durante la era quark-leptón el universo era lo suficientemente denso como para que la separación promedio entre quarks libres rivalizara con la separación entre quarks unidos entre sí. Bajo esas condiciones, la lealtad entre quarks contiguos no podía establecerse sin ambigüedades, y se movían libremente entre ellos mismos, a pesar de estar unidos entre sí. El descubrimiento de este estado de la materia, un tipo de caldero de quarks, fue expuesto por primera vez en 2002 por un equipo de físicos del Laboratorio Nacional de Brookhaven, en Long Island, Nueva York.

Contundentes evidencias teóricas sugieren que un episodio en el universo primerizo, quizá durante una de esas divisiones de fuerzas, dio al universo una notable asimetría en la que las partículas de materia apenas superaban a las partículas de antimateria: de mil millones y uno a mil millones. Esa pequeña diferencia en población apenas sería percibida por nadie en medio de la constante creación, aniquilación y recreación de quarks y antiquarks, electrones y antielectrones (mejor conocidos como *positrones*), y neutrinos y antineutrinos. El tercero en

discordia tenía montones de oportunidades de encontrar con quien aniquilarse, y así hicieron los demás.

Pero no por mucho más tiempo. Conforme el cosmos continuaba expandiéndose, enfriándose y haciéndose más grande que nuestro sistema solar, la temperatura descendió rápidamente por debajo de un billón de kelvin (K).

Había pasado un millonésimo de segundo desde el comienzo.

Este tibio universo ya no era lo suficientemente caliente o denso para cocinar quarks, así que todos tomaron a su pareja de baile y crearon una nueva familia permanente de partículas pesadas llamadas *hadrones* (del griego *hadros*, «grueso»). Esa transición de quarks a hadrones pronto dio lugar a la aparición de protones y neutrones y de otras partículas pesadas menos conocidas, todas ellas integradas por distintas combinaciones de especies de quarks. De vuelta en la Tierra, en Suiza, la colaboración europea en física de partículas¹ usa un gran acelerador para colisionar haces de hadrones en un intento de recrear estas mismas condiciones. Esta

1. La Organización Europea para la Investigación Nuclear, mejor conocida por sus siglas en francés: CERN.

máquina, la más grande del mundo, lógicamente se llama Gran Colisionador de Hadrones.

La ligera asimetría materia-antimateria que aqueja al caldo de quarks-leptones pasó entonces a los hadrones, pero con consecuencias extraordinarias. Conforme el universo continuaba enfriándose, la cantidad de energía disponible para crear espontáneamente partículas básicas descendió. Durante la era hadrónica, los fotones ambientales ya no podían seguir $E = mc^2$ para producir pares de quarks-antiquarks. No solo eso, los fotones que emergieron de todas las aniquilaciones restantes perdieron energía a causa de la constante expansión del universo, cayendo por debajo del umbral requerido para crear pares de hadrones-antihadrones. Por cada mil millones de aniquilaciones —que dejaban mil millones de fotones en su estela— sobrevivía un solo hadrón. Esos solitarios fueron quienes más se divertirían: sirviendo como fuente de energía fundamental para crear galaxias, estrellas, planetas y petunias.

Sin el desequilibrio de mil millones y uno a mil millones entre materia y antimateria, todas las masas en el universo se habrían autoaniquilado, dejando atrás un cosmos hecho de fotones y nada más, el escenario definitivo de hágase la luz.

Ahora ha pasado un segundo de tiempo.

El universo ha crecido unos cuantos años luz a lo ancho,² más o menos la distancia del Sol a las estrellas vecinas más cercanas. A mil millones de grados sigue haciendo mucho calor y aún se pueden cocinar electrones que, junto a sus contrapartes positrones, siguen apareciendo y desapareciendo. Pero en el universo en continua expansión y en continuo enfriamiento, sus días (sus segundos, en realidad) están contados. Lo que les ocurrió a los quarks y a los hadrones les ocurrió a los electrones: al final solo uno en mil millones de electrones sobrevive. El resto se aniquila con positrones, sus cómplices antimateria, en un mar de fotones.

Justo ahora, un electrón por cada protón se «congela» en vida. Mientras el cosmos continúa enfriándose —las temperaturas están por debajo de los cien millones de grados—, los protones se fusionan con neutrones, así como con neutrones, formando núcleos atómicos e incubando un universo en el que el 90% de estos núcleos son hidrógeno y el 10% son helio, junto con pequeñas cantidades de deuterio, tritio y litio.

Ahora han pasado dos minutos desde el comienzo.

2. Un año luz es la distancia que viaja la luz en un año terrestre, casi diez billones de kilómetros o casi seis billones de millas.

Durante otros 380 mil años no ocurrirá mucho más con nuestro caldo de partículas. A lo largo de estos milenios, la temperatura se mantiene lo suficientemente caliente para que los electrones se muevan libremente entre los fotones, golpeándolos de aquí para allá mientras interactúan con ellos.

Pero esta libertad llega a un abrupto final cuando la temperatura del universo cae por debajo de 3 mil K (alrededor de la mitad de la temperatura de la superficie del Sol) y todos los electrones libres se unen a núcleos. El matrimonio deja detrás de sí una luz visible que lo baña todo, marcando para siempre el cielo con un registro de dónde se encontraba toda la materia en ese momento, y completando la formación de partículas y átomos en el universo primigenio.

Durante los primeros mil millones de años, el universo continuó expandiéndose y enfriándose mientras la materia gravitaba hacia las masivas concentraciones que llamamos *galaxias*. Se formaron casi cien mil millones de ellas, cada una conteniendo cientos de miles de millones de estrellas cuyos núcleos sufren fusiones termonucleares. Esas estrellas, con más de diez veces la masa del Sol, alcanzan suficiente presión y temperatura dentro de sus núcleos para producir docenas de elementos más pesados que el hidrógeno, incluyendo aquellos que

componen los planetas y la vida que pueda desarrollarse en ellos.

Estos elementos serían increíblemente inútiles de quedarse donde se habían formado. Pero las estrellas de gran masa explotaron de manera fortuita, esparciendo sus entrañas ricas en químicos por toda la galaxia. Tras 7 u 8 mil millones de años de enriquecerse, en una parte cualquiera del universo (los alrededores del Supercúmulo de Virgo), en una galaxia cualquiera (la Vía Láctea), en una región cualquiera (el Brazo de Orión), nació una estrella cualquiera (el Sol).

La nube de gas de la que se formó el Sol contenía una cantidad suficiente de elementos pesados para unir y engendrar un complejo inventario de objetos orbitantes que incluyen varios planetas rocosos y gaseosos, cientos de miles de asteroides y miles de millones de cometas. Durante los primeros varios cientos de millones de años, grandes cantidades de restos en caprichosas órbitas se acumularían hasta formar cuerpos más grandes. Esto ocurrió en impactos de alta velocidad y alta energía, que dejaron fundidas las superficies de los planetas, previniendo la formación de moléculas complejas.

Conforme quedaba menos y menos materia acumulable en el sistema solar, las superficies de los planetas comenzaron a enfriarse. Ese al que llamamos Tierra se formó en un tipo de zona de habitabilidad alrededor del Sol, donde los océanos permanecen en gran parte en forma líquida. Si la

Tierra hubiera estado mucho más cerca del Sol, los océanos se habrían evaporado. Si la Tierra hubiera estado mucho más lejos, los océanos se habrían congelado. En cualquiera de los casos, la vida tal como la conocemos no habría evolucionado.

Dentro de los océanos ricos en químicos, a través de un mecanismo que aún no se ha descubierto, las moléculas orgánicas se convirtieron en formas de vida capaces de autorreplicarse. En este caldo primigenio dominaban las bacterias anaeróbicas simples, un tipo de vida que florece en ambientes carentes de oxígeno, pero que excreta oxígeno químicamente potente como uno de sus subproductos. Sin quererlo, estos primitivos organismos unicelulares transformaron la atmósfera rica en dióxido de carbono de la Tierra en una con suficiente oxígeno para permitir que organismos aeróbicos surgieran y dominaran los océanos y la Tierra. Estos mismos átomos de oxígeno, que normalmente se encuentran en pares (O_2), también se combinaron en tríos para formar ozono (O_3) en la atmósfera superior, que sirve como escudo para proteger la superficie de la Tierra de la mayoría de los fotones ultravioleta del Sol, hostiles a las moléculas.

Debemos la extraordinaria diversidad de la vida en la Tierra, y suponemos que en otras partes del universo, a la abundancia cósmica de carbono y al incontable número de moléculas simples y complejas que lo contienen. No hay duda al respecto: existen más variedades de moléculas a base de car-

bono que todas las moléculas de otros tipos combinadas.

Pero la vida es frágil. Los encuentros ocasionales de la Tierra con grandes e impredecibles cometas y asteroides, antes sucesos comunes, causan esporádicos estragos en nuestro ecosistema. Apenas hace 65 millones de años (menos de un 2 % del pasado de la Tierra), un asteroide de 10 billones de toneladas cayó en lo que hoy es la península de Yucatán y exterminó a más del 70% de la flora y fauna de la Tierra, incluyendo a los famosos y gigantescos dinosaurios. Esta catástrofe ecológica permitió a nuestros ancestros mamíferos llenar los recién desocupados nichos, en vez de seguir sirviendo como aperitivos a los *T. rex*. Un tipo de mamífero de cerebro grande, ese al que llamamos primate, evolucionó en un género y especie (*Homo sapiens*) con suficiente inteligencia como para inventar métodos y herramientas científicos, y para deducir el origen y la evolución del universo.

¿Qué pasó antes de todo esto? ¿Qué pasó antes del comienzo?

Los astrofísicos no tienen idea. O más bien, nuestras ideas más creativas tienen poca o ninguna base en la ciencia experimental. En respuesta, algunas personas religiosas afirman, con un tono de superioridad moral, que *algo* debió haberlo empezado todo: una fuerza mayor que todas las de-

más, una fuente de la que todo emana. Una causa primera. Para esas personas, ese algo, por supuesto, es Dios.

Pero ¿y si el universo siempre hubiera estado ahí, en un estado o condición que aún tenemos que identificar?, ¿un multiverso que, por ejemplo, continuamente crea otros universos?, ¿o qué tal si el universo apenas acaba de surgir de la nada?, ¿o qué tal si todo lo que conocemos y amamos solo fuera una simulación de computadora creada para la diversión de una especie extraterrestre superinteligente?

Estas ideas filosóficamente divertidas generalmente no satisfacen a nadie. Sin embargo, nos recuerdan que la ignorancia es el estado natural de la mente para un científico investigador. Las personas que creen no ignorar nada no han buscado ni se han topado con el límite de lo que se conoce y lo que se desconoce en el universo.

Lo que sí sabemos y lo que podemos afirmar sin ninguna duda es que el universo tuvo un comienzo. El universo continúa evolucionando. Y sí, cada uno de los átomos de nuestro cuerpo puede trazarse hasta el big bang y los hornos termonucleares con estrellas de gran masa que estallaron hace más de 5 mil millones de años.

Somos polvo de estrellas al que se le dio vida y al que el universo luego dio el poder para descifrarse a sí mismo. Y apenas hemos comenzado.