

Astrofísica
para jóvenes
con prisas

NEIL
DEGRASSE
TYSON

y Gregory Mone

PAIDÓS

Astrofísica
para jóvenes
con prisas

NEIL
DEGRASSE
TYSON

y Gregory Mone

Título original: *Astrophysics for young people in a hurry*,
de Neil deGrasse Tyson y Gregory Mone
Publicado originalmente en inglés por W.W.Norton & Company, Inc.

1.ª edición, febrero de 2022

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 fotocopiar o escanear 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.

© Neil deGrasse Tyson, 2019, 2017, y Gregory Mone
© Ediciones Culturales Paidós, S.A. de C.V., 2019
© de la traducción, Adriana de la Torre Fernández, 2019
© de la presente edición en castellano,
Editorial Planeta, S. A., 2022
Paidós es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.
Avda. Diagonal, 662-664
08034 Barcelona, España
www.paidos.com
www.planetadelibros.com

Ilustraciones de interior: Jorge Aviña
Diseño de interior: Nuri Saburit

ISBN: 978-84-493-3901-1
Fotocomposición: Pleca Digital, S. L. U.
Depósito legal: B. 154-2022
Impresión y encuadernación en Gráficas Estella

Impreso en España – *Printed in Spain*



Índice

Prólogo 9

1

La mejor historia jamás contada 13

2

Cómo comunicarse con extraterrestres 31

3

¡Hágase la luz! 43

4

Entre galaxias 59

5

Materia oscura 73

6

Energía oscura 89

7

Mis elementos favoritos 101

8

¿Por qué el mundo es redondo? 113

9

El universo invisible 125

10

Un paseo por nuestro barrio solar 139

11

Cómo vería un extraterrestre la Tierra 149

12

Mirar arriba, pensar en grande 161

Glosario 171

Créditos de imágenes 177

1

La mejor historia jamás contada



En el inicio, hace casi catorce mil millones de años, todo el universo era más pequeño que el punto al final de esta oración.

¿Cuánto más pequeño? Imagina que ese punto fuera una pizza. Ahora corta la pizza en un billón de trocitos. Todo, incluyendo las partículas de tu cuerpo, los árboles y los edificios que ves por la ventana, los calcetines de tu amigo, las petunias, tu escuela, las enormes montañas y los profundos mares de nuestro planeta, el sistema solar, las galaxias lejanas..., todo el espacio, la energía y la materia del cosmos estaba embutido en ese puntito.

Y hacía mucho calor.

Hacía tanto calor y había tantas cosas apretadas en un espacio tan pequeño que el universo solo podía hacer una cosa: expandirse.

Muy rápido.

En la actualidad, a ese evento lo llamamos «Big Bang», la gran explosión, y en una diminuta fracción de segundo (en concreto, en una diezmillonésima de billonésima de billonésima de billonésima de segundo), el universo creció enormemente.

¿Qué sabemos respecto a este primer instante en la vida de nuestro cosmos? Por desgracia, muy poco. Hemos descubierto que hay cuatro fuerzas básicas que lo controlan todo, desde las órbitas de los planetas hasta las pequeñas partículas que forman nuestro cuerpo, pero en aquel instante después del Big Bang todas esas fuerzas estaban enmarañadas en una sola.

Conforme el universo se expandía, se fue enfriando.

Para el final de ese parpadeo de tiempo, conocido como la era de Planck, nombrada en honor al físico alemán Max Planck, una de las fuerzas logró desligarse de las demás. Esta fuerza, la gravedad, sostiene a las estrellas y los planetas que forman las galaxias, mantiene a la Tierra en órbita alrededor del Sol e impide a los niños de diez años hacer mates jugando a baloncesto, entre otras cosas. Para realizar una sencilla demostración de la atracción constante de la gravedad, cierra este libro, levántalo unos cuantos centímetros de la mesa más cercana y suéltalo. Eso es la gravedad en acción.

(Si tu libro no ha caído, por favor, busca al astrofísico más cercano y declarad una emergencia cósmica.)

Sin embargo, en los primeros instantes del universo temprano no había planetas ni libros ni niños de diez años jugando a baloncesto sobre los que pudiera actuar la gravedad. Lo que mejor se le da a la gravedad son los

objetos grandes, y en el universo temprano todo seguía siendo increíblemente pequeño.

Pero esto era solo el principio.

El cosmos seguía creciendo.

Después, las otras tres fuerzas fundamentales se separaron entre sí.* El trabajo principal de estas fuerzas es controlar las pequeñas partículas y los grandes trozos de materia que pueblan el cosmos.

Una vez que las cuatro fuerzas se hicieron independientes, teníamos lo necesario para construir un universo.

★ ★ ¿Podrías hacer un mate en Marte?

Supongamos que pudieras llegar a Marte, lo cual no es tarea fácil, y que tuvieras un traje espacial que te dejara suficiente libertad de movimiento como para poder saltar. La fuerza de la gravedad en un determinado planeta o luna depende de su masa. Como Marte tiene menos masa que la Tierra, la fuerza de su gravedad es poco más de la tercera parte de la nuestra. Por tanto, sería posible que lograras saltar lo suficiente. Aunque espero que, si llegas a Marte un día, no pierdas el tiempo jugando al baloncesto. Habrá cosas mucho más interesantes que ver y hacer. ★ ★ ★

* Las cuatro fuerzas son la gravedad, la fuerza nuclear débil, la fuerza nuclear fuerte y el electromagnetismo. Hablaremos de ellas más adelante.

Ha pasado una billonésima de segundo desde el inicio

El universo seguía siendo increíblemente diminuto y caliente, y se empezaba a llenar de partículas. En ese momento, había dos tipos de partículas: quarks y leptones. Los quarks son muy peculiares. Nunca sorprenderás a un quark solito; siempre estará pegado a otros que tenga cerca. Estoy seguro de que al menos uno de tus amigos o compañeros de clase se comporta así. Los quarks son como esos niños que nunca quieren hacer nada solos, ni siquiera ir al baño.

★ ★★ Los muchos nombres de la materia

Me advirtieron que sería imprudente presentar tantos nombres y términos a lectores jóvenes, así que resistiré la tentación de detallar todos los diferentes tipos de quarks que hay en el universo: arriba, abajo, extraño y encantado. Pero creo que sí debes familiarizarte con los quarks y los leptones. Todo el universo visible está formado por ellos, incluso tú. Además, he notado que a los niños no les cuesta nada memorizar los complicados nombres de los dinosaurios. Claro, algunos dinosaurios son feroces y aterradores, lo cual hace que valga la pena aprenderse sus nombres. Pero, ¡vaya!, estamos hablando de las cosas que forman el universo. Las partículas también son

fascinantes, aunque no sean tan feroces.
Sin ellas, ni siquiera habríamos tenido
dinosaurios, para empezar.★★★

La fuerza que mantiene a dos o más quarks juntos, de hecho, se hace más fuerte cuanto más los separes, como si estuvieran unidos por una clase de goma elástica diminuta e invisible. Si los separas lo suficiente, la goma se rompe y la energía acumulada crea un nuevo quark a cada lado, lo que le da a cada uno de los quarks separados un amigo nuevo. Imagina que sucediera lo mismo con esos niños inseparables de tu cole, y que a todos les salieran dobles. Sin duda, tus profesores se quedarían pasmados.

Por otro lado, los leptones son solitarios. La fuerza que mantiene juntos a los quarks no tiene efecto sobre los leptones, por lo que no forman grupos. El leptón más conocido es el electrón.

Además de estas partículas, el cosmos también estaba repleto de energía contenida en pequeños paquetes de energía de luz en forma de onda llamados «fotones».

Y aquí es donde las cosas se ponen raras.

El universo estaba tan caliente que esos fotones de vez en cuando se convertían en pares de materia-antimateria. Y luego esos pares chocaban y se volvían a transformar en fotones. Pero, por razones misteriosas, una de cada mil millones de estas conversiones formaba una sola partícula de materia, sin su amigo de antimateria. Si no fuera por aquellos supervivientes solitarios, el universo no tendría ninguna materia en él. Y esto también es bueno, porque todos estamos formados de materia.

★ ★★ Antimateria

Todas las partículas importantes del universo, incluidos los quarks y los leptones que acabamos de conocer, tienen gemelos de antimateria que son sus opuestos en todos los sentidos. Fijémonos en el electrón, el miembro más popular de la familia de partículas de los leptones. El electrón tiene una carga negativa, y su opuesto en antimateria, el positrón, una carga positiva. Pero no vemos mucha antimateria alrededor, porque una vez que se crea una partícula de antimateria, esta de inmediato busca a su gemelo de materia, y estos encuentros nunca terminan bien. Los gemelos se destruyen entre sí, y se convierten en una explosión de energía. (Consulta la historia del señor Tompkins, del físico George Gamow, en el capítulo 3.) Actualmente, los científicos crean partículas de antimateria en experimentos gigantes que hacen chocar átomos entre sí. También las vemos después de grandes colisiones en el espacio. Pero donde más fácil es encontrar antimateria es en la ciencia ficción. Es el combustible para los motores de la famosa *Enterprise* en la serie y las películas de *Star Trek*, y aparece con frecuencia en cómics.★★★

Existimos, y sabemos que, conforme pasó el tiempo, el cosmos se siguió enfriando y expandiendo. Cuando se hizo más grande que nuestro sistema solar, la temperatura descendió muy deprisa. El universo seguía siendo increíblemente caliente, pero la temperatura había caído por debajo de un billón de grados Kelvin.

★ ★★ *Cómo medimos la temperatura*

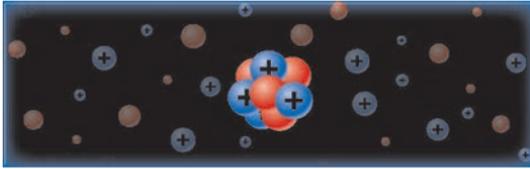
Puede que esto ya lo sepas, pero hay muchas maneras diferentes de describir la temperatura de un sistema. En Estados Unidos se usan los grados Fahrenheit. En Europa y gran parte del resto del mundo, el estándar son los grados Celsius. Los astrofísicos usan grados Kelvin, un estándar en donde el cero realmente significa cero. No puede haber nada más frío. Así que un billón de grados Kelvin es mucho más caliente que un billón de grados Fahrenheit o Celsius. No tengo nada en contra de los otros estándares, pero cuando pienso en el universo, todo está en Kelvin.★★
★

*Ha pasado una millonésima
de segundo desde el inicio*

El universo ha crecido de aquella diminuta fracción del punto al final de esta frase al tamaño de nuestro sistema solar. Eso son casi trescientos mil millones de kilómetros.

★
★★ Una sencilla receta de materia
en el universo

1. Empieza con quarks y leptones.
2. Junta los quarks para que formen protones y neutrones.
3. Combina los protones, los neutrones y los electrones (un tipo de leptón con carga negativa) para construir tu primer átomo.
4. Mezcla los átomos para hacer moléculas.
5. Junta las moléculas en formas y combinaciones distintas para hacer planetas, petunias y personas.★★★



★★★

Un billón de grados Kelvin es mucho, mucho más caliente que la superficie del Sol, pero en comparación con aquel primer instante después del Big Bang era frío. Aquel universo tibio ya no estaba tan caliente ni atiborrado como para seguir cocinando quarks, así que todos buscaron compañeros de baile y crearon partículas más pesadas. Estas combinaciones de quarks pronto resultaron en la aparición de formas de materia más familiares, como los protones y los neutrones.

Ha pasado un segundo desde el inicio

El universo había crecido unos cuantos años luz de largo, aproximadamente la distancia desde el Sol hasta las estrellas más cercanas. La temperatura había caído a mil millones de grados. Todavía es muy caliente, lo suficiente para crear a los pequeños electrones y sus opuestos, los positrones. Estos dos tipos de partículas aparecían, se aniquilaban entre sí y desaparecían. Pero lo que ocurría con otras partículas ocurría también con los electrones: sobrevive un electrón de cada mil millones.

Los demás se destruyen entre sí.

La temperatura del cosmos cayó por debajo de los cien millones de grados, pero siguió siendo más caliente que la superficie del Sol.

Las partículas más grandes empezaron a unirse entre sí. Por fin se estaban juntando los ingredientes básicos para que los átomos produjeran nuestro mundo visible actual, como las estrellas y los planetas, los árboles y los edificios que ves por tu ventana, los calcetines de tu amigo, mi bigote... Los protones se unieron con otros protones, así como con neutrones, y formaron el centro de un átomo, llamado «núcleo».

★ ★ Las cuatro fuerzas fundamentales

Estas son las cuatro fuerzas fundamentales
que controlan nuestro universo:

1. La fuerza de gravedad, que ya conoces.
2. La fuerza nuclear fuerte, que mantiene juntas a las partículas en el centro de los átomos.
3. La fuerza nuclear débil, que hace que los átomos se rompan y liberen energía. Además, en realidad no es débil, es mucho más fuerte que la gravedad, pero no tan poderosa como la fuerza nuclear fuerte.
4. La fuerza electromagnética, que enlaza a los electrones de carga negativa con los protones de carga positiva que están en el centro de los átomos. También enlaza a los grupos de átomos conocidos como moléculas.

Pero pongámoslo fácil: La gravedad une las cosas grandes y las otras tres fuerzas trabajan con las cosas pequeñas.★★★

Han pasado dos minutos desde el inicio

Por lo general, los electrones que giran a toda velocidad por el universo se sienten atraídos por los protones y núcleos. Los electrones tienen carga negativa, los protones y núcleos tienen cargas positivas, y los opuestos se atraen. ¿Por qué tienen cargas positivas y negativas? ¿Y por qué, preguntará, se atraen los opuestos?

Sencillamente lo hacen.

Me encantaría tener una respuesta mejor, pero el

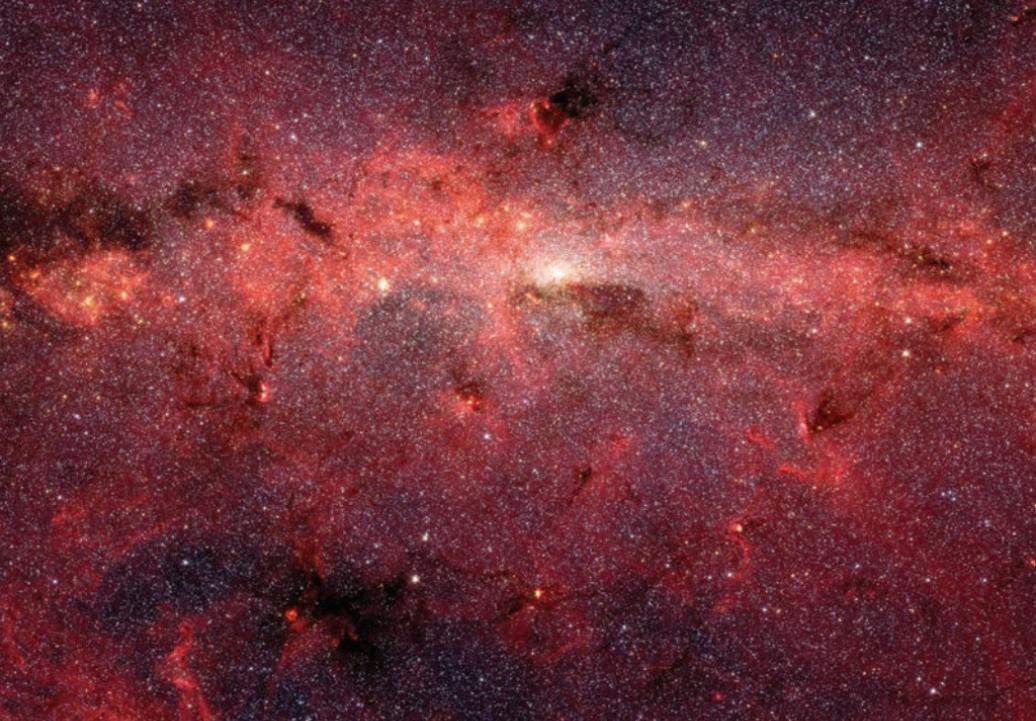
universo no tiene ninguna obligación de parecerse lógico. Lo que puedo decir es que muchos, muchos años de investigación científica respaldan estas dos ideas.

★ ★★ ¿Qué es la carga?

Cada uno de nosotros, los seres humanos, tenemos varias cualidades o características. Podemos ser amables, caritativos o desagradables. Estas propiedades ayudan a definirnos. La carga es una de las propiedades básicas de la materia. Algunas partículas, como los protones, tienen carga positiva. Otras tienen carga negativa. Y hay otras, como los neutrones, que no tienen ninguna carga. Cuando dos partículas tienen la misma carga, se separan o repelen. Si tienen cargas opuestas, como los protones y los electrones, se atraen cada vez más cerca.★★★

Ahora bien, dada su atracción, podrías pensar que los protones y los electrones se pegarían entre sí. Sin embargo, durante miles de años el universo seguía estando demasiado caliente para que se quedaran quietos. Los electrones deambulaban libremente, chocando contra fotones sin parar, algo que les gusta hacer a los electrones libres.

Esto llegó a su fin cuando la temperatura del universo cayó por debajo de los tres mil grados Kelvin (más o menos la mitad de la temperatura de la superficie del Sol) y todos los electrones libres se sumaron a los proto-



Esta vista de un telescopio muestra cientos de miles de estrellas cerca del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea.

nes cargados positivamente. Cuando se unieron, ese montón de fotones por fin pudo atravesar el universo sin que los tocaran, formando una luz que los científicos siguen detectando en la actualidad. Hablaremos más de esto en el capítulo 3.

*Han pasado trescientos ochenta
mil años desde el inicio*

El universo se siguió expandiendo como un globo que nunca explota. Al crecer, se enfrió, y la gravedad empezó a hacer su trabajo. Durante los primeros cientos de miles de años, las partículas corrían por todas partes, como niños de preescolar libres en un parque. La grave-

dad comenzó a juntar estas piezas para formar las ciudades cósmicas que llamamos *galaxias*.

Se formaron cerca de cien mil millones de galaxias.

Cada galaxia tenía cientos de miles de millones de estrellas.

Estas estrellas actuaban como ollas a presión y forzaban a las diminutas partículas a unirse para formar elementos cada vez mayores. Las estrellas más grandes llegaron a acumular tanto calor y presión que fabricaron elementos pesados, como el hierro.

Los elementos del interior de aquellas estrellas gigantes serían completamente inútiles si se hubieran quedado donde se formaron, pero estas estrellas eran inestables, así que explotaron y todo lo que tenían dentro salió volando por toda la galaxia.

★ ★ ★ ¿Qué son los elementos?

Existen 118 elementos conocidos en el universo. Cada uno está formado por un solo tipo de átomo. La diferencia principal entre cada elemento es el número de protones que tienen en su núcleo. El hidrógeno, que tiene un solo protón, es el elemento más común en el universo. Si añades un protón a un átomo de hidrógeno, formas un nuevo elemento, el helio. ★ ★ ★



Ver la Tierra a setecientos kilómetros por encima de la superficie revela por qué le llamamos «el planeta azul».

Nueve mil millones de años después del inicio del universo, en un lugar cualquiera del universo, en una galaxia cualquiera, nació una estrella cualquiera (el Sol).

¿Cómo se formó? La gravedad lentamente atrajo una enorme nube de gas repleta de partículas y elementos pesados con protones y neutrones adicionales. Al

orbitar unos alrededor de los otros, la gravedad los forzó a acercarse más y más hasta que chocaron y se fundieron.

Después de nacer el Sol, a esta nube de gas todavía le quedaban muchos ingredientes cósmicos. La nube proporcionaba suficiente materia como para formar varios planetas, cientos de miles de rocas espaciales conocidas como asteroides y miles de millones de cometas. Incluso después de eso quedaban sobras, y toda esa chatarra errante chocó y formó otros objetos cósmicos.

Estas colisiones eran tan vigorosas que derretían la superficie de los planetas rocosos.

Cuando la cantidad de cosas que iban a toda prisa de un lado a otro por el sistema solar disminuyó, hubo menos impactos de esos, y la superficie de los planetas se empezó a enfriar. El que llamamos *Tierra* se formó en una zona como de Ricitos de Oro alrededor del Sol. Como recordarás, a Ricitos de Oro no le gustaba la sopa ni demasiado caliente ni demasiado fría. La quería en el punto perfecto. De modo similar, la Tierra se formó a la distancia perfecta del Sol. Si hubiera estado más cerca, los mares se habrían evaporado. Si hubiera estado más lejos, los mares se habrían congelado.

En cualquier caso, la vida tal y como la conocemos no se habría desarrollado.

Tú no estarías aquí, leyendo este libro.

Ahora el universo tiene más de nueve
mil millones de años

El agua atrapada dentro de las rocas que formaban nuestro joven y caliente planeta salió al cielo. Al enfriarse la Tierra, esta agua cayó como lluvia, creando gradualmente los mares. Dentro de esos mares, por algún método que todavía desconocemos, las moléculas simples se unieron y se transformaron en vida.

Los seres humanos somos criaturas aeróbicas, requerimos aire rico en oxígeno. Los actores dominantes en estos primeros mares eran sencillas bacterias anaeróbicas, formas de vida microscópicas que no necesitan oxígeno para sobrevivir. Por suerte, esas bacterias anaeróbicas liberaron oxígeno, y llenaron el aire de lo que los humanos al cabo de un tiempo necesitarían para desarrollarse. Esta nueva atmósfera, rica en oxígeno, permitió que surgieran formas de vida cada vez más complejas.

Pero la vida es frágil. De vez en cuando, grandes cometas y asteroides chocaban contra nuestro planeta y hacían grandes destrozos.

Hace sesenta y cinco millones de años, un asteroide de tres mil billones de toneladas cayó en donde hoy está la península de Yucatán, en México. La roca espacial hizo un agujero en la superficie de 167 kilómetros de ancho y 20 kilómetros de profundidad. El impacto, el polvo y los escombros que lanzó a la atmósfera arrasaron con casi toda la vida en la Tierra, incluyendo a los famosos dinosaurios gigantes.

Extinción. El fin absoluto de la existencia de una criatura o forma de vida.

Esta catástrofe permitió que nuestros ancestros ma-

míferos se desarrollaran, en vez de servir de aperitivo para un tiranosaurio. En una rama de estos mamíferos con cerebros grandes, a la que llamamos primates, evolucionó una especie (*Homo sapiens*) con suficiente inteligencia para inventar los métodos y las herramientas de la ciencia y para descifrar el origen y la evolución del universo.

Esos somos nosotros.



¿Qué sucedió antes del inicio?

Los astrofísicos no tienen idea. O, más bien, nuestras creativas respuestas a esta pregunta tienen poca o ninguna base científica experimental. En otras palabras, no las podemos probar. En respuesta, algunas personas insisten en que *algo* debe de haber iniciado todo: una fuerza más grande que todas las otras, una fuente de la que todo surge. En la mente de estas personas, ese algo es, por supuesto, Dios.

Pero ¿y si el universo hubiera estado siempre ahí, en un estado que todavía no hemos identificado, un multiverso, por ejemplo, que crea nuevos universos sin cesar?

¿Y si el universo sencillamente apareció de la nada?

¿Y si todo lo que conocemos y amamos no es más que un juego de ordenador creado por una especie superinteligente de extraterrestres?

Estas preguntas no suelen satisfacer a nadie, pero nos recuerdan que la ignorancia —el no saber— es el estado natural de la mente para un científico investiga-

dor. Muchas veces los jóvenes inteligentes odian pronunciar las palabras «no lo sé», pero los científicos debemos admitir todo el tiempo que no sabemos. La gente que cree que lo sabe todo nunca ha buscado ni se ha topado con la frontera entre lo que se sabe y lo que no se sabe del universo.

Allí es a donde espero llevarte en los próximos capítulos.

Sabemos con seguridad que el universo tuvo un inicio.

Y sabemos que cada uno de los átomos de tu cuerpo se pueden rastrear hasta el Big Bang y hasta los hornos de las estrellas gigantes que lanzaron lo que tenían dentro hacia todas las galaxias hace más de cinco mil millones de años.

Somos polvo de estrellas que cobró vida.

El universo nos ha dado el poder de descifrarlo, y no hemos hecho más que empezar.

