

ASTROFÍSICA para JÓVENES APURADOS

Neil deGrasse Tyson
con Gregory Mone

 PAIDÓS

1

La historia más grande jamás contada



En el inicio, hace casi 14 000 millones de años, todo el universo era más pequeño que el punto al final de esta oración.

¿Qué tanto más pequeño? Imagina que ese punto fuera una pizza. Ahora rebana la pizza en un billón de partes. Todo, incluyendo las partículas de tu cuerpo, los árboles y 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 distantes; todo el espacio, la energía y la materia del cosmos, estaba amontonado en el 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.

Rápido.

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

¿Qué sabemos respecto de este primer instante en la vida de nuestro cosmos? Desafortunadamente, muy poco. Hemos descubierto que cuatro fuerzas básicas 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 enrolladas en una sola.

Conforme el universo se expandió, se enfrió.

Para el final de ese tropiezo en el tiempo, conocido como la era de Planck, nombrada en honor del físico alemán Max Planck, una de las fuerzas logró desenredarse de las demás. Esta fuerza, la gravedad, sostiene a las estrellas y los planetas que forman a las galaxias, mantiene a la Tierra en órbita alrededor del Sol, y evita que los niños de 10 años anoten canastas en el basquetbol, 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 luego, suéltalo. Esa es la gravedad en funciones.

(Si tu libro no se cayó, por favor busca a tu astrofísico más cercano y declara una emergencia cósmica).

Sin embargo, en los primeros instantes del universo temprano, no había planetas ni libros ni niños de

10 años jugando basquetbol sobre los que pudiera actuar la gravedad. La gravedad hace su mejor trabajo con objetos grandes, y todo en el universo temprano seguía siendo increíblemente pequeño.

Pero era solo el comienzo.

El cosmos seguía creciendo.

★★ ¿Podrías encestar en Marte?

Supongamos que pudieras llegar a Marte, lo que no es tarea fácil, y que tuvieras un traje espacial que te diera 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, su gravedad tiene una fuerza ligeramente mayor a la tercera parte de la nuestra. Por lo que es posible que logres saltar lo suficiente. Pero espero que, si llegas a Marte un día, no perderás tu tiempo jugando basquetbol. Habrá cosas mucho más interesantes que ver y hacer. ★★

Luego, las otras tres fuerzas principales se separaron entre sí.* El trabajo principal de estas fuerzas es controlar a las

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

pequeñas partículas y a los grandes trozos de materia que llenan el cosmos.

*Ha pasado una billonésima
de segundo desde el inicio.*

El universo seguía siendo increíblemente diminuto, caliente, y se empezaba a llenar de partículas. En ese momento, las partículas eran de dos tipos, quarks y leptones. Los quarks son cosas extravagantes. Nunca sorprenderás a un quark solito; siempre estará en grupo con otros que estén cerca. Estoy seguro de que al menos uno de tus amigos o compañeros se comporta así. Los quarks son como esos niños que no quieren hacer nada solos nunca, 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 tipos diferentes de quarks en el universo -arriba, abajo, extraño, encanto-. Pero creo que sí debes saber sobre los quarks y los leptones. Todo el universo visible está formado por ellos. Incluso tú. Además, he notado que a los niños no se les dificulta memorizar los complicados

nombres de los dinosaurios. Claro, algunos dinosaurios son feroces y aterradores, lo que hace que valga la pena memorizar sus nombres. Pero, ¡vaya!, estamos hablando de las cosas que forman el universo. Las partículas también son fascinantes, aunque menos feroces. Sin ellas, ni siquiera hubiéramos tenido dinosaurios, para empezar.★★

La fuerza que mantiene a dos o más quarks juntos, de hecho, se hace más fuerte mientras más los separes, como si estuvieran unidos por una clase de liga miniatura, invisible. Si los separas lo suficiente, la liga se revienta y la energía almacenada crea un nuevo quark de cada lado, lo que le da a cada uno de los quarks separados un amigo nuevo. Imagina si lo mismo sucediera con esos niños inseparables de tu escuela, y que a todos les salieran dobles. Sin duda, tus maestros quedarían perplejos.

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 se juntan en grupos. El leptón más conocido es el electrón.

Además de estas partículas, el cosmos también hervía de energía contenida en pequeños paquetes parecidos a olas de energía de luz llamados fotones.

Y allí fue donde las cosas se pusieron raras.

El universo estaba tan caliente que esos fotones rutinariamente se convertían en pares de materia-antimateria. Y esos pares chocaban, y se volvían a transformar en fotones. Pero por razones misteriosas, una en 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 leptones que acabamos de conocer, tienen gemelos de antimateria que son sus opuestos en todos sentidos. Miremos al 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, tiene 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 un golpe de energía (Ve la historia del Sr. 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. Las vemos después de grandes colisiones en el espacio. Pero probablemente es más fácil encontrar antimateria en la ciencia ficción. Es el combustible en los motores de la famosa *Enterprise* del programa de televisión y las películas de *Star Trek*, y aparece con frecuencia en cómics. ★★

De hecho, 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 rápidamente. El universo seguía siendo increíblemente caliente, pero la temperatura había caído por abajo de un billón de grados Kelvin.

★★Cómo medimos la temperatura

Quizás esto ya lo sabes: hay muchas maneras diferentes de describir la temperatura de un sistema. En Estados Unidos usan los grados Fahrenheit. En Europa y gran parte del resto de mundo, la norma son los grados Celsius. Los astrofísicos usan grados Kelvin, una norma en donde el cero es en *realidad* cero. No puede haber nada más frío. Así que un billón de grados

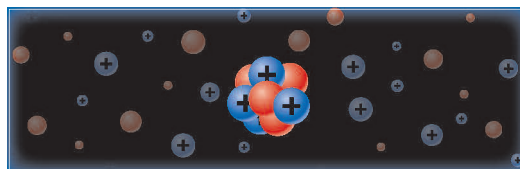
Kelvin es mucho más caliente que un billón de grados Fahrenheit o Celsius. No tengo nada en contra de las otras normas, pero cuando pienso en el universo, todo está en Kelvin. ★★

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 es casi 300 000 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. Acumula las moléculas en formas y combinaciones distintas para hacer planetas, petunias y personas.



Mil billones de grados Kelvin es mucho, mucho más caliente que la superficie del Sol, pero comparado con aquel primer instante después del Big Bang, esto era frío. Aquel universo tibio ya no estaba tan caliente o atiborrado como para cocinar quarks, así que cada uno eligió un compañero 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.

*Hasta ahora, ha pasado
un segundo desde el inicio.*

El universo había crecido unos cuantos años luz* de largo, aproximadamente la distancia del Sol a las estrellas más cercanas. La temperatura había caído a 1 000 millones de grados. Todavía es muy caliente, lo suficiente para cocinar a los pequeños electrones y sus opuestos, los positrones. Las dos partículas diferentes aparecían en la existencia, se aniquilaban entre sí y desaparecían. Pero lo que era verdad para otras partículas, era verdad para los electrones: eventualmente, sobrevive un solo electrón entre 1 000 millones.

Los demás se destruyen unos a otros.

La temperatura del cosmos cayó por debajo de los 100 millones de grados, pero siguió siendo más caliente que la superficie del Sol.

* Un año luz es la distancia que viaja la luz en un año terrestre, casi 10 billones de kilómetros.

Partículas más grandes empezaron a fundirse entre ellas. Finalmente 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, mis bigotes. Los protones se fundieron 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 fuerte.
4. La fuerza electromagnética, que enlaza a los electrones de carga negativa con los protones de carga positiva, en el centro de los átomos. También enlaza a los grupos de átomos conocidos como moléculas.

Pero mantengámoslo sencillo: La gravedad enlaza a las cosas grandes y las otras tres fuerzas trabajan en las cosas pequeñas. ★★

Han pasado dos minutos
desde el inicio

Normalmente, los electrones que giran a toda velocidad por el universo se sienten atraídos a 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, preguntas, se atraen los opuestos?

Sencillamente lo hacen.

Me encantaría tener una mejor respuesta, pero el universo no tiene ninguna obligación de parecernos lógico. Lo que puedo decir es que muchos, muchos años de investigación científica respaldan estas dos ideas.

★★ ¿Qué es carga?

Cada uno de nosotros, los seres humanos, tenemos varias cualidades o características. Unos somos amables o 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 aun otras, como los



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

neutrones, 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, dada su atracción, pensarías que los protones y los electrones se enlazarían entre sí. Sin embargo, durante miles de años, el universo seguía estando muy caliente para que ellos se establecieran. Los electrones corrían libremente, bateando fotones de un lado para otro, algo que les gusta hacer a los electrones libres.

Esto llegó a un final cuando la temperatura del universo cayó por debajo de los 3 000 grados Kelvin (más o menos la mitad de la temperatura de la superficie del Sol), y todos los electrones libres se combinaron con aquellos protones cargados positivamente. Cuando se unieron, la tina de fotones ahora podía atravesar el universo sin ser tocada, luz que los científicos todavía pueden detectar en la actualidad. Hablaremos más de esto en el capítulo 3.

Han pasado 380 000 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 kínder libres en un patio. La gravedad empezó a juntar estas piezas para formar las ciudades cósmicas llamadas galaxias.

Se formaron cerca de 100 000 millones de galaxias.

Cada galaxia tenía cientos de miles de millones de estrellas.

Estas estrellas actuaron como ollas de presión y forzaron a que las diminutas partículas se unieran para formar elementos más y más grandes. Las estrellas más grandes llegaron a acumular tanto calor y presión que fabricaron elementos pesados, como el hierro.



Ver a la Tierra a 700 kilómetros por encima de la superficie revela por qué llamamos azul a nuestro planeta.

Los elementos dentro de aquellas estrellas gigantes serían completamente inútiles si se hubieran quedado en donde se formaron, pero estas estrellas eran inestables. Ellas explotaron y mandaron todo lo que tenían adentro a toda prisa por toda la galaxia.

★ ★ ¿Qué son los elementos?

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

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

¿Cómo se formó? La gravedad lentamente atrajo una enorme nube de gas llena de partículas y elementos pesados llenos de 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 que nació 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. Aun entonces quedaban sobras, y toda esa chatarra errante chocó y formó otros objetos cósmicos.

Estas colisiones tenían tanta energía que derretían la superficie de los planetas rocosos.

Cuando la cantidad de cosas que giraba a toda prisa alrededor del sistema solar disminuyó, hubo menos de esos impactos, y la superficie de los planetas se empezó a enfriar. La que llamamos Tierra se formó en una zona que era una especie de Ricitos de Oro alrededor del Sol. Como recordarás, a Ricitos de Oro no le gustaba su avena ni demasiado caliente ni demasiado fría. La quería exactamente bien. De forma similar, la Tierra se formó exactamente a la distancia correcta del Sol. Si hubiera estado más cerca, los mares se habrían evaporado. Si la Tierra hubiera estado más lejos, los mares se habrían congelado.

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

Tú no estarías aquí, leyendo este libro.

**Ahora el universo tiene más
de 9000 millones de años**

El agua atrapada dentro de las rocas que formaban a nuestro joven y caliente planeta se liberó en los cielos. Al enfriarse la Tierra, esta agua cayó como lluvia, creando gradualmente a los mares. Dentro de esos mares, por algún método que todavía no descubrimos, moléculas simples se unieron y se transformaron en vida.

Los seres humanos somos criaturas aeróbicas, requerimos aire rico en oxígeno. Los protagonistas

dominantes en estos primeros mares eran sencillas bacterias anaeróbicas, formas de vida microscópica que no necesitan oxígeno para sobrevivir. Afortunadamente, esas bacterias anaeróbicas liberaron oxígeno, y bombearon al aire aquello que los humanos eventualmente necesitarían para desarrollarse. Esta atmósfera, nueva, rica en oxígeno, permitió que surgieran formas más y más complejas de vida.

Pero la vida es frágil. Ocasionalmente, grandes cometas y asteroides chocaban contra nuestro planeta y hacían grandes destrozos.

Hace 65 millones de años, un asteroide de 3 000 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 y enormes dinosaurios.

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

Esta catástrofe permitió que nuestros ancestros mamíferos se desarrollaran, en vez de servir de bocadillo para un *T. rex*. 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, naturalmente, Dios.

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

¿O y si el universo sencillamente apareció de la nada?

¿O si todo lo que sabemos y amamos no es más que un juego de computadora creado por una especie superinteligente de extraterrestres?

Estas respuestas usualmente no satisfacen a nadie. Pero nos recuerdan que nuestra ignorancia –*no saber*– es el estado natural de la mente para un científico investigador. Con frecuencia, jóvenes inteligentes detestan pronunciar las palabras “no 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 encontrado por azar en la frontera entre lo que se sabe y lo que no se sabe del universo.

Allí es a donde espero llevarte en los siguientes capítulos.

Sabemos de seguro 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 los hornos en las estrellas gigantes que lanzaron lo que tenían adentro hacia todas las galaxias, hace más de 5 000 millones de años.

Somos polvo de estrellas que cobró vida.

El universo nos ha dado el poder de descifrarlo, y apenas hemos comenzado.

