

Neil deGrasse Tyson, Michael A.  
Strauss y J. Richard Gott

# Bienvenidos al universo

Un breve paseo por la astrofísica

Traducción del inglés  
de Dulcinea Otero-Piñeiro



**Alianza** editorial  
El libro de bolsillo

Título original: *A Brief Welcome to The Universe. A Pocket-Sized Tour*

Esta obra fue publicada originalmente por Princeton University Press.

Diseño de colección: Estrada Design

Diseño de cubierta: Manuel Estrada

Ilustración de cubierta: © Getty Images/Hulton Deutsch/Corbis Historical

Selección de imagen: Carlos Caranci Sáez

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



Revisión científico-técnica de David Galadí-Enríquez

Copyright © 2021 by Neil deGrasse Tyson, Michael A. Strauss, and J. Richard Gott

© de la traducción: Dulcinea Otero-Piñeiro, 2025

© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2025

Calle Valentín Beato, 21

28037 Madrid

[www.alianzaeditorial.es](http://www.alianzaeditorial.es)

ISBN: 978-84-1148-863-1

Depósito legal: M-24.554-2024

Printed in Spain

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

# Índice

- 9 1. Tamaño y escalas del universo  
*Neil deGrasse Tyson*
- 21 2. La categoría de Plutón en el Sistema Solar  
*Neil deGrasse Tyson*
- 35 3. Vida y muerte de las estrellas  
*Michael A. Strauss y Neil deGrasse Tyson*
- 63 4. La búsqueda de vida en la Galaxia  
*Neil deGrasse Tyson*
- 87 5. La Galaxia y su agujero negro supermasivo  
*Michael A. Strauss*
- 99 6. Galaxias, el universo en expansión y la Gran  
Explosión  
*Michael A. Strauss*
- 127 7. La inflación y el multiverso  
*J. Richard Gott*
- 161 8. Nuestro futuro en el universo  
*J. Richard Gott*
- 183 Agradecimientos
- 185 Índice onomástico



# 1. Tamaño y escalas del universo

Neil deGrasse Tyson

Vamos a comenzar por el Sistema Solar, luego ascenderemos hasta las estrellas y, después, saltaremos a la Galaxia, el universo y más allá.

El universo es más grande de lo que pensamos. Es más caliente de lo que pensamos. Es más denso de lo que pensamos. Es más extraño de lo que pensamos. Todo lo que creemos saber sobre el universo es menos exótico que su realidad. Reunamos algunas herramientas numéricas antes de iniciar nuestro recorrido. Empecemos por el número 1. No es la primera vez que lo vemos. No le sigue ningún cero. Escrito en notación científica sería diez elevado a cero,  $10^0$ , donde el exponente indica que el número 1 no tiene ningún cero a su derecha. Si seguimos adelante con el mismo esquema, el número 10 se escribe como 10 elevado a uno,  $10^1$ . Pasemos al número mil ( $10^3$ ). ¿Cuál es el prefijo del sistema métrico para indicar miles? *Kilo*; así, 1 kilogramo equivale a mil gramos, y un kilómetro se corresponde con mil metros.

Avancemos tres ceros más, hasta llegar a un millón,  $10^6$ , que se indica mediante el prefijo *mega*. Tal vez fuera la cifra más elevada hasta la que se sabía contar cuando se inventó el megáfono; de haber sabido llegar hasta mil millones, añadiendo otros tres ceros, es decir,  $10^9$ , quizá habrían preferido llamarlo «gigáfono».

¿Y a cuánto ascienden mil millones? ¿Qué cosas se pueden contar en miles de millones?

En la actualidad nos acercamos a la cifra de 8000 millones de personas en el mundo.

¿Y qué hay de Jeff Bezos, el fundador de Amazon.com? ¿A cuánto asciende su fortuna? Más de 100 000 millones de dólares. ¿En qué otro lugar vemos esta cifra? Pues en McDonald's: «Más de 99 mil millones de hamburguesas servidas», es uno de sus lemas. Este es el número más elevado que puede verse por la calle. Las pantallas de McDonald's nunca mostraron la cifra de 100 mil millones porque solo se habían asignado dos espacios numéricos para el contador de hamburguesas, de modo que este se detuvo en 99 mil millones. Después quisieron imitar a Carl Sagan, y por eso ahora hablan de «miles y miles de millones» de hamburguesas servidas.

Imaginemos 100 000 millones de hamburguesas puestas en fila una detrás de otra desde la ciudad de Nueva York hacia el oeste. ¿Llegarían hasta Chicago? Desde luego que sí. ¿Y a California? También. Supongamos que conseguimos hacerlas flotar. Este cálculo requiere usar el diámetro del bollo (unos 10 centímetros), de modo que todo queda reducido al panecillo de las hamburguesas. Si las ponemos en fila a través del océano siguiendo un círculo máximo, cruzaremos el Pacífico, pasaremos por Australia, el océano

Índico, África y el océano Atlántico hasta llegar al fin de vuelta a Nueva York. Se necesitan muchas hamburguesas para eso, pero después de completar la primera vuelta nos habrán sobrado algunas, de modo que repetimos la operación 215 veces más. Y después de eso todavía habrá algunas sobrantes. Como ya nos hemos aburrido de circunnavegar la Tierra, decidimos apilar las que aún nos quedan. ¿Hasta dónde llegaríamos? Apilando las hamburguesas restantes después de dar la vuelta al mundo 216 veces, cubriríamos el trecho de ida y vuelta hasta la Luna (contando con que cada una tiene 5 cm de alto). Solo entonces habremos utilizado esos 100 000 millones de hamburguesas. Por eso las vacas están aterrorizadas con McDonald's. Por establecer una comparación, nuestra Galaxia alberga unos 300 000 millones de estrellas. Quizá McDonald's se esté preparando para repartir sus menús por todo el cosmos.

Cuando una persona llega a la edad de 31 años, 7 meses, 9 horas, 4 minutos y 20 segundos cumple los primeros mil millones de segundos de su vida. Yo soy lo bastante *friki* como para haber celebrado ese instante de mi vida con un rápido sorbo de champán.

Prosigamos. ¿Cuál es el siguiente escalón numérico? Un billón:  $10^{12}$ . También tenemos un prefijo para aludir a esa cifra: *tera*. No hay manera humana de contar hasta un billón. Si contáramos al ritmo de un número por segundo, tardaríamos 1000 veces 31 años, es decir, 31 000 años, así que no recomiendo hacerlo, ni siquiera en casa. Hace un billón de segundos, los cavernícolas o trogloditas hacían pinturas en las paredes de sus cuevas.

En el Centro Rose de la Tierra y el Espacio de la ciudad de Nueva York hay una rampa en espiral que reproduce la

cronología del universo desde la Gran Explosión (*Big Bang*) hasta 13 800 millones de años después. Desenrollada, tiene la longitud de un campo de fútbol. Cada paso que se da en ella abarca 50 millones de años. Al llegar al final nos preguntamos dónde estamos nosotros. ¿Dónde está la historia de la especie humana? Todo el espacio temporal transcurrido desde un billón de segundos atrás hasta hoy, desde los cavernícolas grafiteros hasta ahora, abarca tan solo el grosor de un cabello humano al final de esa cronografía. ¿Nos parece que los humanos vivimos muchos años, que las civilizaciones humanas duran mucho? Pues la realidad es que no; no, en comparación con el propio cosmos.

¿Qué viene ahora? Pues  $10^{15}$ , es decir, el número mil billones, al que le corresponde el prefijo peta. Según el biólogo de Harvard E. O. Wilson, en la Tierra hay entre mil y diez mil billones de hormigas.

Le sigue  $10^{18}$ , un trillón, con el prefijo exa. Este es el número aproximado de granos de arena que hay en diez playas grandes.

Si volvemos a multiplicar esta cifra por 1000, llegamos a  $10^{21}$ , esto es, mil trillones. Hemos ido subiendo desde los kilómetros hasta los megáfonos, las hamburguesas de McDonald's, los artistas de Cromañón, las hormigas, los granos de arena de las playas y, por último, hasta aquí: más de 10 mil trillones o...

*... el número de estrellas que alberga el universo observable.*

A diario hay gente por la calle que sostiene que estamos solos en este universo. Son personas que no tienen ni idea



sobre números grandes ni sobre el tamaño del cosmos. Más adelante explicaremos a qué nos referimos con *universo observable*, es decir, la parte del universo que alcanzamos a ver.

Y, ya puestos, ¿qué tal si consideramos un número mucho más grande que mil trillones, como, por ejemplo,  $10^{81}$ , es decir, mil tridecillones? Este es el número de átomos que hay en el universo observable. ¿Para qué necesitaríamos usar un número más elevado que ese? ¿Qué diablos contaríamos con algo así? ¿Qué tal  $10^{100}$ ? Este bonito número redondo se conoce como gúgol, y no debe confundirse con Google, la empresa de internet que aprovechó a propósito una transcripción alterada de *googol*, que es el nombre que recibe esta cifra en inglés.

No hay bastantes cosas en el universo como para sumar un gúgol. No es más que un número curioso. Podemos escribirlo como  $10^{100}$  o, al igual que cualquier otro número grande si no se dispone de letras en superíndice, mediante la expresión  $10^{100}$ . Pero los números así de elevados pueden emplearse en ciertas situaciones no para contar cosas, sino para calcular de cuántas maneras pueden ocurrir las cosas. Por ejemplo, ¿cuántas partidas de ajedrez diferentes podrían darse en este juego? Cualquiera de los dos bandos puede declarar que la partida acaba en tablas si se repite tres veces la misma disposición de las fichas sobre el tablero, si cada oponente realiza 50 movimientos sucesivos sin desplazar un peón o capturar una pieza o si no quedan piezas suficientes para conseguir un jaque mate. Si asumimos que uno de los dos bandos debe declarar que la partida acaba en tablas siempre que se dé una de estas tres situaciones, entonces es factible calcular el número de todas las partidas

de ajedrez diferentes que pueden darse. Rich Gott lo hizo (porque este es el tipo de asuntos a los que se dedica) y descubrió que la respuesta es un número inferior a  $10^{(10^{4.4})}$ . Eso da una cantidad mucho más elevada que un gúgol, que es  $10^{(10^2)}$ . Una vez más, no estamos contando cosas, sino de cuántas maneras pueden hacerse las cosas, y esto da como resultado números muy altos algunas veces.

Consideremos un número más grande aún. Si un gúgol es un 1 seguido de 100 ceros, ¿qué se obtiene al elevar el número 10 a un gúgol? Esta cifra también tiene nombre, se llama gúgolplex, y equivale a un 1 seguido de un gúgol de ceros. ¿Podríamos siquiera escribir este número? En absoluto. Necesitaríamos un gúgol de ceros, y esa cantidad supera el número de átomos que hay en el universo, de modo que no hay más remedio que plasmarlo así:  $10^{\text{gúgol}}$  o  $10^{10^{100}}$  o  $10^{(10^{100})}$ .

Todo esto no solo sirve para perder el tiempo. Veamos un número más grande que un gúgolplex. Jacob Bekenstein ideó una fórmula para calcular el número máximo de distintos estados cuánticos capaces de tener una masa y un tamaño totales comparables a los de nuestro universo observable. Considerando la borrosidad cuántica que observamos, esa cantidad se correspondería con el número máximo de diferentes universos observables como el nuestro, y asciende a  $10^{(10^{124})}$ , una cifra que tiene  $10^{24}$  veces más ceros que un gúgolplex. Entre estos  $10^{(10^{124})}$  universos hay algunos terroríficos ocupados en su mayoría por agujeros negros hasta otros idénticos al nuestro pero donde mis fosas nasales tienen una molécula de oxígeno menos en este preciso momento, y la nariz de un alienígena cósmico tiene una molécula más.

Hay un teorema matemático en el que aparece el formidable número  $10^{(10^{(10^{34})})}$ . Se denomina número de Skewe y vuelve insignificantes todos los demás.

Veamos ahora las cantidades extremas que se dan en el universo.

¿Qué hay de la densidad? Todo el mundo sabe, de manera intuitiva, qué es la densidad, pero consideremos las densidades que se dan en el cosmos. Analicemos, en primer lugar, el aire que nos rodea. Respiramos  $2.5 \times 10^{19}$  moléculas en cada centímetro cúbico, formadas en un 78 % por nitrógeno y un 21 % por oxígeno (además de un 1 % de otras cosas). Al hablar de densidad en este caso nos referimos al número de moléculas, átomos o partículas sueltas que componen una materia en cuestión.

Una densidad de  $2.5 \times 10^{19}$  moléculas por centímetro cúbico seguramente es más elevada de la que se suele atribuir al aire. ¿Qué hay del vacío que conseguimos en los laboratorios? Hoy en día alcanzamos cotas bastante buenas que reducen la densidad a unas 100 moléculas por centímetro cúbico. ¿Y qué números se dan en el espacio interplanetario? El viento solar a la distancia que separa la Tierra del Sol tiene unos 10 protones por centímetro cúbico. ¿Y en el espacio interestelar, el que media entre las estrellas? En estas regiones la densidad fluctúa dependiendo de dónde nos situemos, pero no es infrecuente encontrar lugares donde se reduce a 1 átomo por centímetro cúbico. En el espacio intergaláctico, ese número desciende mucho más, hasta 1 átomo por metro cúbico.

En nuestros mejores laboratorios no conseguimos vacíos tan perfectos. Un viejo dicho sostiene que «la naturaleza aborrece el vacío». Las personas que lo usaban no salieron

jamás de la superficie de la Tierra. En realidad, a la naturaleza le encanta el vacío, ya que en eso consiste la mayor parte del universo. Cuando hablaban de naturaleza en realidad se referían a la capa más baja de esta envoltura de aire que llamamos atmósfera y que, en efecto, llena cualquier espacio vacío en cuanto tiene la más mínima oportunidad.

Si aplastamos un trozo de tiza contra una pizarra hasta hacerla añicos, cada uno de los fragmentos minúsculos vendrá a medir 1 milímetro. Imaginemos un protón de ese tamaño. ¿Cuál es el átomo más simple de todos? El del hidrógeno, que en su núcleo porta un solo protón alrededor del cual orbita, en el caso del hidrógeno normal, un único electrón que ocupa un volumen esférico. Estos volúmenes en torno al núcleo de un átomo se denominan orbitales. Si el fragmento minúsculo de tiza fuera ese protón, ¿qué tamaño tendría el átomo de hidrógeno al completo? Pues mediría cien metros de diámetro, más o menos lo mismo que la longitud de un campo de fútbol. De modo que los átomos están bastante vacíos, aunque sean tan insignificantes que su diámetro mide unos  $10^{-10}$  metros, o sea, la diezmilmillonésima parte de un metro. Solo cuando se llega a  $10^{-14}$  o  $10^{-15}$  metros, se accede al tamaño del núcleo. Sigamos hacia algo más reducido aún. Todavía no sabemos qué diámetro tiene un electrón porque es más pequeño de lo que somos capaces de medir. Aun así, la teoría de supercuerdas sostiene que podría consistir en una cuerda diminuta en vibración de tan solo  $1.6 \times 10^{-35}$  metros de longitud. De modo que la materia es un almacén excelente de espacio vacío.

Avancemos ahora en la dirección opuesta, hacia densidades cada vez más elevadas. ¿Qué hay del Sol? Tiene una densidad bastante considerable en su centro (y temperaturas

elevadísimas), pero mucho más baja por los bordes. La densidad media del Sol ronda 1.4 veces la del agua, y sabemos que la del agua asciende a 1 gramo por centímetro cúbico. En el centro del Sol la densidad alcanza 160 gramos por centímetro cúbico, aunque nuestra estrella no destaca especialmente por su densidad. Hay estrellas que se comportan de manera realmente asombrosa. Algunas se expanden hasta alcanzar un tamaño descomunal, abultado y con una densidad muy baja, mientras que otras se compactan hasta volverse minúsculas y densísimas. Recordemos la analogía del fragmento minúsculo de tiza que nos sirvió como protón y el inmenso espacio vacío que lo circundaría a esa escala. En el universo se dan procesos que compactan la materia hasta tal punto que no queda ningún volumen vacío entre el núcleo y los electrones de un átomo. Cuando la materia se encuentra en ese estado, alcanza la misma densidad que un núcleo atómico. En el interior de esas estrellas, cada núcleo atómico se toca con los núcleos vecinos.

Los objetos con estas propiedades extraordinarias consisten en su mayor parte en neutrones, y constituyen los reinos cósmicos de la densidad superelevada.

Quienes nos dedicamos a esta profesión solemos llamar a las cosas de acuerdo con lo que vemos. A las estrellas grandes y rojas las llamamos *gigantes rojas*. A las estrellas pequeñas y blancas las llamamos *enanas blancas*. Las estrellas que consisten en neutrones se denominan *estrellas de neutrones*. Llamamos *pulsantes* a las estrellas que exhiben palpitations. La biología recurre a pomposos vocablos latinos. En las consultas médicas se extienden recetas en trazos cuneiformes incomprensibles para sus pacientes pero descifrables en las farmacias. La molécula más famosa de la

bioquímica tiene once sílabas: ácido desoxirribonucleico. Sin embargo, el comienzo de todo el espacio, el tiempo, la materia y la energía del cosmos se conoce simplemente como Gran Explosión (o *Big Bang*). Somos gente sencilla con un léxico casi monosilábico. El universo ya es lo bastante complejo como para no necesitar palabras grandilocuentes que le añadan dificultad.

Pero aún hay más. En el universo hay lugares con una gravedad tan intensa que la luz no consigue salir de ellos. Nada de lo que cae en ellos vuelve a salir: son los agujeros negros. Una vez más, dos palabras simples bastan para nombrar estos objetos.

¿Qué densidad tiene una estrella de neutrones? La misma que si introduyéramos una manada de 100 millones de elefantes en el tubo de un pintalabios. En otras palabras, si colocáramos 100 millones de elefantes en un lado de una balanza, y un tubo de pintalabios lleno de materia de estas estrellas en el otro lado, la báscula estaría equilibrada. Es una densidad considerable, desde luego.

¿Y qué pasa con la temperatura? Caldeemos el ambiente. Comencemos por la superficie del Sol, que ronda los 6000 kelvins (o 6000 K; cualquier valor expresado en kelvins se traduce a la escala centígrada sumándole 273). Eso evaporaría cualquier cosa, por eso el Sol es un objeto gaseoso. Sirva como referencia que la temperatura media en la superficie terrestre solo asciende a 287 K.

¿Y qué temperatura hay en el centro del Sol? Como ya habrá adivinado, es mucho más elevada que en la superficie y se sitúa en torno a 15 millones de K.

Refresquemos ahora las ideas. ¿A qué temperatura está el universo? Lo cierto es que tiene una cierta temperatura, la

que ha quedado después de la Gran Explosión. En sus inicios, 13 800 millones de años atrás, todo el espacio, el tiempo, la materia y la energía que alcanzamos a divisar hoy, hasta 13 800 millones de años luz de distancia, se encontraban compactados. (Un año luz equivale a unos 10 billones de kilómetros, que es la distancia que recorre la luz al cabo de un año viajando a la velocidad de 300 000 kilómetros por segundo). Un segundo después de su nacimiento, el universo en ciernes tenía una temperatura elevadísima, de unos 10 000 millones de K, y era una caldera de materia y energía en ebullición. Desde entonces, la expansión cósmica lo ha ido enfriando hasta situar su temperatura en tan solo 2.7 K.

En la actualidad, el universo continúa expandiéndose y enfriándose. Por inquietante que suene, todo indica que nos encontramos en un viaje sin retorno. El universo nació con la Gran Explosión y seguirá expandiéndose por siempre jamás. La temperatura continuará descendiendo y en algún momento se situará en 2 K, después en 1 K, más tarde en medio kelvin y poco a poco efectuará un acercamiento asintótico al cero absoluto. Al final, la temperatura del universo tal vez se estanque en unos  $7 \times 10^{31}$  K (es decir, 7 diezquintillonésimas de grado por encima del cero absoluto) debido a un efecto que descubrió Stephen Hawking y que exponemos en el capítulo 8. Pero esto no supone ningún consuelo. Las estrellas terminarán de fusionar todo su combustible termonuclear, y una tras otra se irán extinguiendo y desapareciendo del firmamento nocturno. Las nubes de gas interestelares dan lugar a estrellas nuevas, pero, como es natural, eso agota sus reservas de gas. A partir de ese gas se forman estrellas que acaban envejeciendo y dejan tras de sí un despojo que es el producto final de la evolución de ese

astro: agujeros negros, estrellas de neutrones y enanas blancas. Esto ocurrirá de manera sucesiva hasta que todos los luceros de la Galaxia se apaguen uno a uno. Entonces, la Galaxia estará a oscuras. El universo estará a oscuras. Y solo quedarán agujeros negros emitiendo un débil fulgor, según predijo también Stephen Hawking.

Así se acabará el cosmos. No en llamas, sino congelado. Y no con una explosión, sino con un suspiro.

¡Feliz día y bienvenidos al universo!



## 2. La categoría de Plutón en el Sistema Solar

Neil deGrasse Tyson

El Centro Rose del Museo Nacional de Historia Natural de la ciudad de Nueva York, el cual dirijo, cuenta con una esfera de algo más de 25 metros de diámetro suspendida en el interior de un cubo de cristal. Esta estructura aloja la cúpula del Planetario Hayden en su mitad superior, y una representación de la Gran Explosión en la parte inferior. El montaje incide en que el universo ama las esferas al admitir que las leyes de la física conspiran para que los objetos que alberga acaben siendo esféricos, desde las estrellas hasta los planetas o los átomos. La estructura arquitectónica con forma de bola nos permitió utilizarla como un elemento expositivo para comparar tamaños entre diferentes estructuras del universo. El globo de 25 metros está rodeado por una pasarela que invita a hacerse una idea de las «escalas del universo». Para empezar, se insta a concebir la esfera del planetario como todo el universo observable. En el pasamanos hay una maqueta del tamaño de un puño que representa la

extensión del supercúmulo de Virgo, una agrupación de galaxias formada por miles de miembros que incluye la nuestra.

En una parada posterior, a mitad de camino de la pasarela dedicada a las escalas del universo, la gran bola representa el Sol, y se muestran reproducciones de los planetas con el tamaño que les correspondería si el astro rey tuviera esas dimensiones. El ejercicio prosigue a medida que se avanza por la rampa estableciendo comparaciones a escalas cada vez más pequeñas. Cuando la esfera del planetario hace las veces de un átomo de hidrógeno, se muestra un punto de dos décimas de milímetro de diámetro para ilustrar qué tamaño tendría su núcleo y evidenciar que la mayor parte del volumen de los átomos está vacía.

En el tramo de la pasarela donde la gran esfera representa el Sol, para comparar su tamaño con el de los planetas, decidimos que no figurara Plutón. Tal vez parezca un detalle feo por nuestra parte, pero teníamos buenas razones para ello. Y de ahí vino todo el revuelo posterior en relación con Plutón.

Un año después de la inauguración de este espacio recibimos la visita de un periodista que reparó en que Plutón no estaba en la exposición dedicada a los tamaños relativos de los planetas, y decidió armar un escándalo escribiendo un artículo para la portada del *New York Times*. Aquel fue el detonante del gran lío que se desató. Esta es la versión abreviada de lo que hicimos y por qué.

A comienzos del siglo XX se conocían ocho planetas: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Clyde Tombaugh descubrió Plutón en 1930. La obra de 1962 de C. W. Allen titulada *Astrophysical Quantities* se-

ñalaba que la masa de Plutón asciende al 80 % de la de la Tierra, y el dato iba seguido de un signo de interrogación para indicar que se trataba de una suposición. Parecía un planeta.

En 1978 se descubrió Caronte, un satélite de Plutón. Estos dos objetos orbitan alrededor de su centro de masas común, tal como debe ser. La observación de sus órbitas y la aplicación de la ley de la gravitación de Newton permitió calcular la masa de Plutón. ¿Y cuál fue el resultado? Plutón solo tiene 1/500 de la masa de la Tierra, de modo que es un objeto minúsculo comparado con el resto de planetas.

Por cierto, Newton fue un personaje increíble. Desarrolló la ley de la gravitación universal que establece que dos cuerpos se atraen entre sí con una fuerza proporcional al producto de sus masas dividido entre el cuadrado de la distancia que los separa. Con ella se explicaban las órbitas elípticas observadas en los planetas. Dedujo esta fórmula antes de cumplir los 26 años. Fue asombroso su descubrimiento de que la fusión de todos los colores del arco iris da como resultado la luz blanca. Inventó el análisis matemático y el telescopio reflector. Todo eso hizo.

Entonces, ¿qué pasa con Plutón? Plutón es el planeta más pequeño del Sistema Solar con gran diferencia. En nuestro sistema hay siete satélites más grandes que Plutón, los cuales incluyen la Luna de la Tierra. Plutón sigue una trayectoria orbital tan elíptica que es el único planeta que atraviesa la órbita de otro planeta, y está formado en su mayoría por hielo: un 55 % de su volumen. Los objetos helados del Sistema Solar se denominan cometas. Plutón comparte con ellos muchas características, pero no se precipita hacia el Sol para marcharse después por donde vino, como hace la

mayoría de los cometas. A medida que los cometas helados se acercan al Sol, desprenden vapor y polvo y desarrollan una cola larguísima. Estos objetos son pequeños (el cometa Halley, por ejemplo, mide 7 kilómetros de diámetro), pero a veces despliegan colas de millones de kilómetros de longitud. A Plutón no le pasa nada de esto porque nunca se acerca tanto al Sol como los cometas. A pesar de sus rasgos atípicos, parecía adecuado por entonces mantener Plutón dentro de la definición de planeta.

Sin embargo, en el Centro Rose queríamos montar exposiciones que resistieran el paso del tiempo, a prueba de futuro, para que duraran lo máximo posible, y dimos gran importancia a las tendencias dentro de la exploración planetaria. Plutón difiere más de Mercurio, Venus, la Tierra y Marte que cualquiera de estos planetas entre sí. Mercurio, Venus, la Tierra y Marte son objetos pequeños y rocosos. Forman una misma familia.

Mercurio, el planeta más cercano al Sol, posee un núcleo grande de hierro, meras trazas de atmósfera y una superficie con cráteres. Venus tiene una cobertura de nubes que ocultan cadenas montañosas espectaculares y algunos cráteres. Este planeta es algo más pequeño que la Tierra y posee una atmósfera densa de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que produce un efecto invernadero abrasador y temperaturas insostenibles en la superficie. Marte es más pequeño que la Tierra y Venus, pero mayor que Mercurio. Retiene una tenue atmósfera de  $\text{CO}_2$  que produce un efecto invernadero insignificante. Como, además, se encuentra más lejos del Sol, Marte es un lugar mucho más frío que la Tierra. La superficie soporta una presión atmosférica que ronda 1/100 de la de la Tierra, y presenta zonas oscuras de roca basáltica por donde

fluyó lava en el pasado que no se han cubierto de arena y polvo. Las regiones anaranjadas que convierten Marte en el «planeta rojo» son desiertos que deben su tonalidad a la omnipresencia de polvo y arena impregnados de hierro oxidado. Marte alberga una fosa tectónica (o *rift*) que abarcaría Estados Unidos de costa a costa. Tiene un volcán extinto, Olympus Mons, de 21 000 metros de altitud, que es la montaña más alta de todo el Sistema Solar. Exhibe dos casquetes polares compuestos en su mayoría por hielo de agua que cada temporada se cubren de una escarcha de hielo seco (CO<sub>2</sub> congelado), el casquete polar boreal en invierno, y el casquete polar austral durante el resto del año. Marte es el mundo más habitable de nuestro sistema después de la Tierra.

¿Qué más hay ahí fuera? Están Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Todos ellos son grandes y gaseosos, y conforman otra familia. También en este caso, tienen más en común entre sí que cualquiera de ellos con Plutón.

Júpiter orbita el Sol desde un lugar más alejado que Marte. Es el mayor planeta de nuestro sistema, con un diámetro 11 veces mayor que el de la Tierra. Aun así, Júpiter es minúsculo comparado con el Sol, que tiene 109 veces el diámetro de la Tierra. La composición principal de Júpiter consiste en hidrógeno y helio, casi igual que la del Sol. Más adelante veremos que estos fueron los dos ingredientes esenciales con los que se formó todo el universo.

La atmósfera más exterior de Júpiter contiene nubes de metano y amoníaco. En el planeta se divisan bandas de nubes y una Gran Mancha Roja que es una tormenta que lleva activa más de 300 años. Saturno se parece a Júpiter, pero está rodeado por un espléndido sistema de anillos compuestos