ISAAC

ASIMOV

Autor de «Introducción a la Ciencia».

La medición del Universo

En esta obra, Asimov ha elegido nuestro entero Universo para mostrar cuán grande es lo grande y cuán pequeño es lo pequeño. Por ejemplo, en «La escalera de la longitud» se mueve desde los átomos a los objetos visibles, directamente a través del tamaño humano hasta los árboles gigantes, dinosaurios, rascacielos, montañas, asteroides, satélites, desde los grandes planetas hasta el Sol y las estrellas. Hace lo mismo con el área, el volumen, la masa, densidad, presión, tiempo, velocidad y temperatura, comparando estos conceptos desde los mundos físicos y biológicos tal y como existen en cada peldaño de la escalera. Así, al medir una dimensión pequeña y fácilmente abarcable, y multiplicarla por medio de unos exponentes mayores y menores, nos muestra cómo capturar, por lo menos intuitivamente, el tamaño de nuestro Universo en todas sus proporciones.

Finalmente, nos aporta todos esos aspectos de la dimensión en términos humanos para describir la dimensión de nuestra comprensión individual y colectiva del tamaño del Universo en la Historia reciente.

Los conocimientos científicos de Asimov carecen de fronteras y su enfoque, como siempre, resulta delicioso. Sus ejemplos en cada escalón son informativos y fascinantes. ¿Sabía usted, por ejemplo, que el hombre más alto conocido era un gigante médico de 2,75 metros de altura, el mismo tamaño del mono más grande, *Gigantopithecus* (extinguido en la actualidad), que era normal pese a su talla? ¿O que el dinosaurio más pequeño conocido, *Compsognathus*, tenía 6 decímetros de longitud, casi el tamaño de un pollo?

«*La medición del Universo*» constituirá un libro muy valioso para todos los que no sean científicos y quieran comprender en términos sencillos, cómo éstos llegan a medir lo invisible y lo infinito.

Dedicado a Ángel y Satán,
mis maravillosos gatos.

Concedió al hombre el habla, y ésta creó el espíritu,
Que es la medida del universo.

Percy Bysshe Shelley,
Prometeo liberado.

INTRODUCCIÓN

Es tan vasto el Universo y tan pequeño el átomo, que en ninguno de los dos casos parece posible captar las dimensiones implicadas.

Como es natural, podemos usar números para expresar el tamaño en ambos sentidos, puesto que los números se emplean para representar cualquier cantidad, tanto muy grande como muy pequeña. El problema radica en que, aunque los números se utilicen como símbolo de lo vasto o lo diminuto, no son mucho más comprensibles que las cosas en sí. Se pueden manipular y conseguir que funcionen con mayor facilidad que los objetos en sí —y ésta es su ventaja—, pero no consiguen dar una idea más fácil de las cosas.

Sería realmente humillante que fuéramos incapaces de convivir con el Universo y sus partes, sobre todo considerando que los científicos han de trabajar con ello y que han llegado a los mayores extremos de la medición en aras de la curiosidad y de la necesidad de comprensión.

Pero es muy probable que nada resuelva por completo la dificultad. No hay forma de captar el tamaño del Universo o de un átomo de la misma manera en que apreciamos, por ejemplo, el de una panera, o de un gato, o de cualquier otra cosa que nos sea familiar y que tenga un tamaño suficientemente similar al nuestro propio.

No obstante, se me ocurre pensar que cualquier medición, por extrema que sea, tal vez parezca menos extraña si nos aproximamos a ella poco a poco, a través de una serie de pasos regulares. A fin de cuentas, tal vez no seamos capaces de saltar de un brinco hasta lo alto de un edificio, como lo haría Supermán, pero no cabe duda de que hasta el menos Supermán de nosotros puede ascender por una escalera, o por una serie de escalones, para llegar a la cumbre, paso a paso.

En resumidas cuentas, lo que deseo presentar en este libro, es una serie de escaleras, por las que podamos subir o bajar, a fin de llegar a una comprensión algo más intuitiva de determinadas cosas extremas del Universo.

LA ESCALERA DE LA LONGITUD HACIA ARRIBA

ESCALÓN 1

1 metro (10^0 m)

Empecemos por considerar el Universo a la luz de las mediciones de longitud. ¿Cuál sería la longitud de una línea que se extendiera desde aquí hasta una estrella? ¿Cuál es la longitud de una línea tendida desde un lado del átomo hasta el otro?

Para expresar semejantes longitudes, tendremos que emplear alguna «unidad de medida» familiar divisible en múltiplos y submúltiplos. Por ejemplo, cualquier norteamericano adulto tiene una idea bastante aproximada de la longitud que representa una «milla», por lo cual hablamos de longitudes en términos de equis millas o de tal o cual fracción de milla. Algo se encuentra a 4 millas de distancia, o a 0,5 millas, o a 2,7694 millas, o a 1/1600 de milla.

También podemos medir en pulgadas, o pies, o yardas, recordando que 12 pulgadas equivalen a 1 pie, que 3 pies son 1 yarda y que 1.760 yardas forman una milla. En principio, podemos recurrir a cualquier número de las unidades de longitud usadas en el pasado para medir distancias, o que aún se empleen en algunos casos especializados.

Ejemplos de tales unidades podrían ser «brazas», «codos», «leguas», «anas», «palmos», etcétera.

Sin embargo, no tiene utilidad alguna emplear unidades con las que pocas personas están familiarizadas. Por ejemplo, ¿qué utilidad tiene decir que una ciudad se encuentra a 14 leguas de otra, si no se sabe la longitud de una legua? Esto limita las cosas, en Estados Unidos, al empleo de las millas para distancias largas y de las pulgadas para las cortas. Decimos, pues, que cierta estrella se encuentra a tantos trillones de millas de distancia, o que un determinado átomo tiene tantas billonésimas de pulgada de anchura.

Mas, como quiera que este libro no se dirige sólo al lector norteamericano, pues confío en que se traduzca a muchos idiomas, habrá que emplear unidades de medición que resulten familiares para todos.

Pero, afortunadamente, todo el mundo, excepto Estados Unidos, emplea un sistema particular de medición, llamado «sistema métrico decimal», establecido en Francia en los años de 1790. Las reglas de tal sistema se formalizaron y uniformaron mediante un acuerdo internacional en la década de los años 1950. Las nuevas reglas, en francés, se llaman *Système International d'Unités*, lo cual es obvio que equivale al «Sistema Internacional de Unidades» en nuestro idioma. Tales reglas suelen llamarse «versión SI».

Los científicos emplearon cada vez más la versión SI, y es también la que utilizamos en este libro. El lector norteamericano se hará cargo de que no podemos permanecer para siempre a contracorriente de los usos mundiales. Durante muchos años, los científicos norteamericanos han venido usando ya, de forma exclusiva, el sistema métrico y, en realidad, poco a poco, los Estados Unidos lo van ya aceptando. De todos modos, daré el equivalente norteamericano siempre que pueda ser de utilidad.

La unidad SI de medición es el «metro», voz derivada del latín y que significa «medida». No obstante, el sistema SI establece de una forma rígida unos tipos estándar de pronunciación, deletreo, abreviación, etcétera, a fin de que el uso científico de las medidas constituya un idioma auténticamente internacional, sin posibilidad alguna de equívocos a causa de las barreras idiomáticas.

Este objetivo no es en absoluto excepcional, e intentaré seguir las reglas cuando, en lo más íntimo, no me gustaría hacerlo. El metro se simboliza por «m», por lo cual se puede escribir indistintamente «1 metro» o «1 m». (Téngase en cuenta que «m» es un símbolo y no una abreviación, por lo cual no se debe emplear el punto).

De todos modos, no debería ser una unidad muy difícil de captar, para los norteamericanos, puesto que para ellos no difiere mucho de su familiar yarda. Un metro equivale a 1,094 yardas, o, aproximadamente, 1 1/10 yardas. Una yarda es igual a 0,9144 metros, o 9/10 de metro en números redondos. Para unas aproximaciones toscas se suelen emplear incluso de forma intercambiable el metro y la yarda.

Dado que un metro es también igual a 3,281 pies y a 39,37 pulgadas, puede resultar útil, como regla práctica, considerar el metro igual a 3 1/4 pies ó 40 pulgadas.

El metro puede compararse con fenómenos naturales: por ejemplo, las ondas sonoras. Si comenzamos en el piano con el do central, llamado también do tres, y nos desplazamos dos notas blancas hacia el mi, éste constituirá el sonido que empleamos, por lo general, para entonar la escala. La onda sonora asociada con dicha nota es, aproximadamente, de 1 metro de longitud.

Las ondas sonoras consisten en aire (o cualquier otra sustancia), el cual es, de forma alternada, comprimido y expansionado por algún tipo de vibración. También hay «ondas electromagnéticas», producidas por la oscilación de un campo electromagnético. Tales ondas, del tipo empleado en la emisión de señales televisivas, se encuentran en las proximidades de un metro de longitud. Las ondas de esta longitud suelen llamarse «ondas de radio», porque al principio se emplearon para la transmisión de señales de radio.

Pero ¿qué es un metro, en términos de fenómenos tan familiares como nuestro cuerpo?

Una persona extraordinariamente alta (de 6 1/2 pies de talla, en unidades norteamericanas) mide 2 metros de altura. Si tal persona alargase un brazo hacia un lado, con los hombros rectos, la distancia desde la nariz hasta la punta de los dedos extendidos sería, más o menos, de 1 metro. Si anduviese de una forma normal, su paso (es decir, el recorrido de cada uno de sus pies desde una posición detrás del otro a una posición por delante) podría ser más o menos de 1 metro.

De todos modos, esta conexión entre el metro y el cuerpo humano es pura coincidencia. Como explicaré más adelante, la longitud del metro se consiguió a partir de una longitud natural que no tiene nada que ver con el cuerpo humano.

ESCALÓN 2

3,16 metros ($10^{0,5}$ m)

Nuestro «Escalón 1» estaba encabezado por *1 metro* (10^0 *m)*, mientras que éste, como vemos, lleva el enunciado de *3,16 metros* ($10^{0,5}$ *m).*

Hemos incrementado la medición desde 1 metro a 3,16 metros, mientras subíamos un peldaño en la escalera. ¿Cuál es el significado de números tales como 10^0 y $10^{0,5}$?

Vamos a verlo. Supongamos que he construido la escalera añadiendo una y otra vez alguna cifra constante a 1 metro. Podemos añadir un metro en cada ocasión, avanzando de 1 metro a 2 metros, a 3 metros, a 4 metros, etcétera. Ésta es una «progresión aritmética».

Cuanto más arriba se sube en la progresión aritmética, tanto menos significativa se hace la adición. Convendría considerar, por separado, distancias de 1, 2, 3 y 4 metros, dado que cada una de ellas tiene sus puntos de interés. Sin embargo, al alcanzar unos números más elevados, ¿qué podríamos decir acerca de los 76 metros que no hubiésemos dicho ya de los 75? La situación sería incluso peor al hablar de 872 metros y proseguir hasta los 873. Además, y tal como hemos hecho antes, deberíamos hablar de miles de millones de metros, y nunca tendríamos la oportunidad de hacerlo así si hemos de avanzar hacia arriba por medio de escalones de 1 metro.

Aunque procediéramos a través de unos escalones más grandes en progresión aritmética —1 metro, 101 metros, 201 metros, 301 metros, etcétera—, el interés se difuminaría a medida que los números se hiciesen más grandes, puesto que la constante adición de longitudes de 100 metros se haría cada vez menos significativa, y nos costaría una eternidad alcanzar el rellano final.

Por supuesto que podemos ampliar la cosa y avanzar por etapas de 1.000.000.000, añadiendo 1 metro; 1.000.000.001 metros; 2.000.000.001 metros, etcétera. Pero *aún* tardaríamos demasiado en llegar al final, e incluso entonces, al avanzar hacia arriba 1.000.000.000 de metros en el primer escalón nos deslizaríamos por una gran cantidad de niveles de cifras que podrían ser de extremo interés.

En resumen, tal vez no nos resultaría útil ninguna progresión aritmética como medio para construir una escalera del Universo. Tardaríamos demasiado tiempo y habría que concentrar excesivamente la atención en unos números muy grandes en el extremo más alejado de la escalera, y muy poco en los números pequeños, en el extremo más cercano de la escalera: el más próximo a nosotros mismos.

La alternativa consiste en *multiplicar* cada número por alguna cifra particular, para obtener así el número siguiente.

Esto sería una «progresión geométrica». Si el número por el que multiplicamos es 2, tendríamos 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, etcétera.

La progresión geométrica es la más apropiada para construir una escalera del Universo. Porque tal progresión no sólo se hace mayor con mucha más rapidez que la aritmética —con lo cual podemos alcanzar números realmente grandes en un tiempo razonable—, sino que también da pasos pequeños en el extremo más bajo de la escala y pasos cada vez más grandes hacia el nivel superior, lo cual es algo muy a propósito para nuestro caso.

Pero ¿qué número debemos emplear como multiplicador para construir una progresión geométrica particularmente útil?

El accidente de la forma en que se mueve nuestro sistema numérico hace del 10 un multiplicador particularmente sencillo. De esta forma, si comenzamos con el 1 y lo multiplicamos cada vez por 10, obtenemos las series 1, 10, 100, 1 000, 10 000, 100 000, 1 000 000, etcétera. (En Estados Unidos se tiene la costumbre, cuando se opera con números grandes, de dividir los dígitos en grupos de tres, separados por comas. Sin embargo, en muchos otros países, se emplean las comas en el sentido de «puntos decimales». Para evitar confusiones, el sistema SI recomienda que dichos grupos de tres dígitos se separen, simplemente, por un espacio, y así lo haremos a partir de este momento).

Una serie geométrica basada en el 10 como multiplicador es realmente simple; se emplea con mucha frecuencia, y los científicos hablan en este sentido de «órdenes de magnitud». Dos objetos difieren por un orden de magnitud en alguna propiedad medida si el valor de tal propiedad en uno es 10 veces la del otro. Hay dos órdenes de magnitud de diferencia si la medida de la propiedad de uno es 10 x 10, ó 100 veces el otro, tres órdenes de magnitud de diferencia si la medida de la propiedad de uno es 10 x 10 x 10, ó 1 000 veces el otro, etcétera.

No obstante, si consideramos las series 1, 10, 100, 1 000, 10 000, 100 000, 1 000 000, y así sucesivamente, los números, a medida que se hacen más grandes, ocupan un espacio considerable y resulta difícil estar seguro del número de ceros con sólo echar un simple vistazo. Por dicha razón, los matemáticos han elaborado unos sistemas más compactos para representar tales números.

En lugar de escribir las series de la citada forma, podemos hacerlo así: 1, 10, 10 x 10, 10 x 10 x 10, 10 x 10 x 10 x 10, etcétera. Los números crecientes de dieces aumentan con una firmeza cada vez menos manejable, como es natural, y el conjunto es incluso más confuso y menos fácil de leer y comprender que el original. No deberíamos escribir cada uno de los dieces, sino, simplemente, numerarlos.

Así, 10^1 es un 10 multiplicado por sí mismo; 10^2 es el producto de dos 10 multiplicados entre sí; 10^3, resultado de tres 10 multiplicados entre sí, etcétera. El 10, en números expresados de esta forma, es la «base», y el número superior, el «exponente». El 10^3 se llama «número exponencial».

Es obvia la utilidad de dichos números exponenciales:

$10^1 = 10$
$10^2 = 10 \times 10 = 100$
$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1\ 000$
$10^4 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10\ 000$
$10^5 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 100\ 000$

Una vez comprobada la progresiva regularidad, dejaremos de escribir más dieces y pondremos:

$10^6 = 1\ 000\ 000$
$10^7 = 10\ 000\ 000$
$10^8 = 100\ 000\ 000$, y así sucesivamente.

Véase cómo el exponente, en una cifra exponencial de este tipo, es siempre igual al número de ceros en la misma cifra escrita sin abreviar. Así, 10^{51} sería, con todos sus números, 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000. Tenemos, pues, que 10^{51} es una forma mucho más breve y un modo mucho menos confuso de escribir el número.

La expresión 10^1 se llama «diez a la primera potencia»; 10^2, «diez a la segunda potencia»; 10^3, «diez a la tercera potencia»; 10^4, «diez a la cuarta potencia», etcétera. Para abreviar, las personas familiarizadas con el sistema omiten la palabra «potencia» y hablan de «diez a la cuarta», «diez a la quinta», etcétera. A veces se dice también «diez elevado a cuatro», «diez elevado a cinco», etcétera.

En los casos de 10^2 y 10^3 es mucho más raro referirse a ellos como «diez a la segunda potencia» y «diez a la tercera potencia»; se dice más bien «diez al cuadrado» y «diez al cubo», por razones de índole geométrica y que no deben preocuparnos.

En cuanto a 10^1, raramente se considera como un número exponencial. Dado que 10^1 es igual a 10, el exponente se omite casi siempre y, en vez de 10^1, se escribe, simplemente, 10.

Los números exponenciales son algo más que una mera forma breve de escribir números grandes, puesto que también simplifica en extremo la multiplicación y la división. Así, tenemos 10 000 x 100 000 = 1 000 000 000, como es fácil comprobar si hacemos la multiplicación con todos sus números. Traducido a cifras exponenciales: $10^4 \times 10^5 = 10^9$.

Tenemos que 4 + 5 = 9. Vemos que, en la multiplicación citada en el párrafo anterior, sumamos los exponentes de los dos números que han de ser multiplicados a fin de conseguir el exponente del producto. Y ésta es la regla general para los números exponenciales. En vez de multiplicar números ordinarios, se convierten éstos en números exponenciales y se suman dichos exponentes.

La división es la multiplicación al revés. Así, 100 000/1 000 = 100. En números exponenciales, esto es $10^5/10^3 = 10^2$. Como sabemos, 5 – 3 = 2. La regla general para los números exponenciales es la de que la división implica la sustracción o resta de los exponentes.

Veamos ahora la siguiente división: 1 000/1 000 = 1. Esto está perfectamente claro y es incuestionable. No obstante, supongamos que lo escribimos en números exponenciales. ¿Se convierte en $10^3/10^3 = 10$? Según la regla de la sustracción del exponente, y dado que 3 – 3 = 0, $10^3/10^3$ sería igual a 10^0. Así, el mismo problema, en la división, nos da dos respuestas: 1 y 10^0. La única forma de mantener la consistencia de las matemáticas supone que esas dos respuestas son iguales y que $10^0 = 1$.

En la vida corriente nadie emplea 10^0 en lugar de 1, pero los matemáticos sí lo hacen a veces, cuando el número exponencial guarda simetría o permite aplicar una regla aritmética generalizada. Yo empleo 10^0 en tales escaleras del Universo, en atención a la simetría.

Así, vemos que el Escalón 1 llevaba el título de «1 metro», y luego, entre paréntesis, «10^0 m», ambas cosas significan lo mismo, la una, en números, y la otra, en símbolos exponenciales.

Pero ¿qué hay respecto al Escalón 2? ¿Por qué no he saltado a un orden de magnitud de «10 metros (10^1 m)»?

Multiplicar por 10 y avanzar a la vez en un orden de magnitud supone dar unos pasos demasiado grandes para mi propósito, por lo menos en esta escalera particular.

En vez de ello, podría multiplicar por 5, pero entonces obtendría unas series no muy claras: 1, 5, 25, 125, 625, 3 125, 15 625, etcétera. Para evitarlo, podría recurrir a un híbrido de cincos y dieces; así: 1, 5, 10, 50, 100, 500, 1 000, 5 000, etcétera.