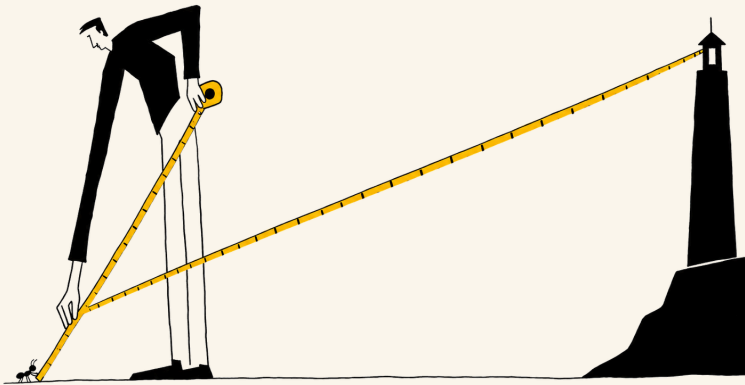


Física universitaria



Paul Peter Urone, Roger Hinrichs · 2022

Audiolecciones ilustradas

Lecturized

Física universitaria

Audiolecciones ilustradas

Paul Peter Urone, Roger Hinrichs · 2022

Contado como lecciones ilustradas por Lecturized
lecturized.com

Del original: College Physics 2e, OpenStax (CC BY 4.0 edition, osbooks-college-physics-bundle@f98d7a792138)

Índice

Las mismas reglas aquí y allá

Una ley para las papas fritas y las baterías

Del microondas al átomo

Leyes, teorías y un coche que no arranca

Cuando las reglas de todos los días se acaban

¿Doce qué?

Un metro de luz, un kilogramo de constantes

De un protón al borde del universo

Cerca de la verdad, o cerca unas de otras

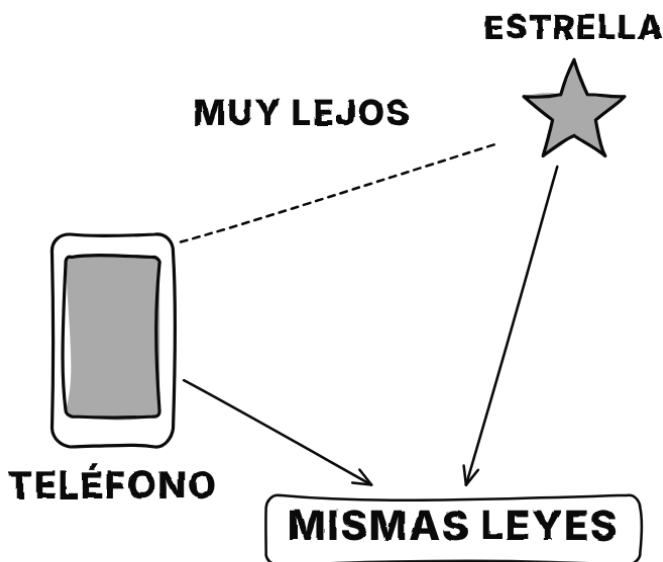
Más o menos

Cuántas cifras se ha ganado

Cifras honestas y conjeturas audaces

Las mismas reglas aquí y allá

Esta noche, si el cielo está despejado, asómese a una ventana y elija una estrella brillante. Ahora levante su teléfono junto a ella, para que la pantalla encendida y el diminuto punto de luz queden lado a lado. Parecería imposible que fueran más distintos: uno es un trozo plano de vidrio en su mano, la otra una bola de gas ardiente a una distancia inimaginable. Y sin embargo la luz de ambos obedece a las mismas reglas de la naturaleza, las mismas que calientan una sartén en el fuego y hacen caer al suelo una llave. Esa idea, que lo cercano y lo lejano obedecen un solo conjunto de reglas, es la promesa con la que se abre este libro.



Un solo conjunto de reglas

Mucha gente recibe la palabra física con un poco de temor. Se imaginan páginas de ecuaciones difíciles y fórmulas que no parecen tener nada que ver con la vida corriente. El libro responde a ese temor de frente: la física tiene en su vida un papel mucho mayor de lo que cree, sea cual sea su oficio.

Su primera imagen es una nube en el espacio llamada la nebulosa del Velo. Está a unos dos mil cuatrocientos años luz, y un año luz es la distancia que la luz recorre en un año entero, casi diez billones de kilómetros. Imagine un velo gigantesco y luminoso de hilos y láminas finas, como humo atrapado en un destello. Es lo que queda de una estrella que estalló hace unos ocho mil años, y la onda de la explosión sigue avanzando hacia fuera, choca con gas y polvo y los hace brillar.

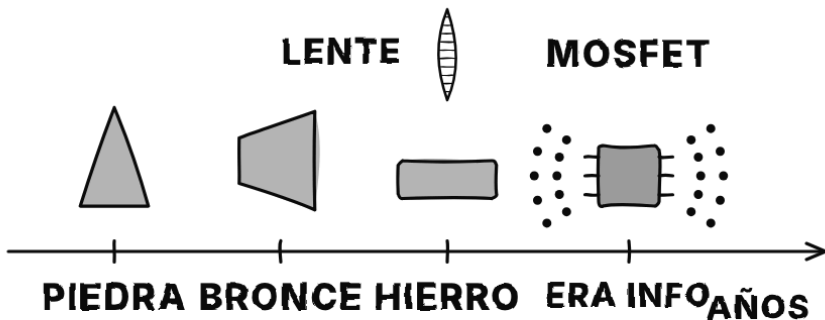
Los científicos comparan fotografías nuevas con las que tomó el telescopio Hubble en 1997, y por cómo ha cambiado la nube aprenden cómo crecen estas nubes. Y las fuerzas que dan forma a esa nube son las mismas con las que tratamos en la Tierra, ya sea al lanzar un cohete al espacio o simplemente al calentar una casa nueva. Hasta sus colores son el brillo del hidrógeno, el azufre y el oxígeno, la misma materia de la que está hecho todo lo que nos rodea.

Pruébalo

Una noche despejada, mire las estrellas durante un minuto y luego mire una lámpara encendida en la habitación. Lo que quiere decir el libro es que el mismo puñado de reglas explica ambas luces; la diferencia es solo de escala y de distancia.

Luego la historia pasa del cielo a nuestro propio pasado. Damos a las grandes épocas de la historia nombres de materiales, la Edad de Piedra, la Edad del Bronce, la Edad del Hierro, porque cada una se construyó sabiendo cómo se comporta un material y cómo trabajarlo. Saber exactamente dónde golpear una piedra para que se astille en una punta afilada, aprender en los hornos del sur de la India y de Sri Lanka que añadir carbono al hierro da el primer acero fino, tallar y pulir el vidrio hasta que forma una lente: todo eso es física, aprendida con las manos. Nuestra época se llama la Era de la Información, y también descansa sobre un único invento diminuto. En 1959, en un laboratorio de Nueva Jersey, Mohamed Atalla, nacido en Egipto, y Dawon Kahng, nacido en Corea, inventaron un interruptor electrónico microscópico, el MOSFET. Casi nadie ha oído hablar de él, pero se han fabricado más de estos interruptores que de cualquier otro objeto en la historia humana. Su teléfono contiene miles de millones, y otros

trabajan en los controles de un coche, en un microondas y en los instrumentos de una consulta médica.



Épocas construidas sobre materiales

Después el libro señala las maravillas más recientes de las noticias: trenes que flotan sobre sus rieles, capas que desvían la luz a su alrededor, robots diminutos que atacan células cancerosas dentro del cuerpo. Por asombrosos o por corrientes que sean, todos descansan sobre la física. Y la física forma parte de muchos oficios que nunca la mencionan. Un piloto tiene que entender cómo el viento desvía el avión de su rumbo, y un fisioterapeuta tiene que entender las fuerzas sobre un músculo cuando el cuerpo se dobla. Incluso el mapa por satélite de su teléfono, que muestra dónde está con un margen de pocos metros, es física trabajando en silencio.

Por último, el libro traza el camino por delante. Primero, una breve historia de cómo la gente empezó a estudiar la naturaleza, desde los antiguos pensadores de Oriente Medio y el Mediterráneo hasta Isaac Newton y las leyes que llevan su nombre. Luego, el sistema común de unidades, el metro, el segundo y el kilogramo acordados, que permite a los científicos de todas partes hablar un mismo lenguaje matemático. Por eso una báscula de cocina en un país y la balanza de una farmacia en otro coinciden en qué es un gramo. Al final viene la parte honesta: cuánto puede acercarse a la verdad cualquier medición y por qué los científicos se esfuerzan tanto en decir exactamente cuán seguros, o inseguros, están.

Para recordar

La física no es un montón de fórmulas separadas de la vida; forma parte de casi todo lo que usted usa y hace. Las fuerzas que dan forma a una estrella lejana que estalló son las mismas que encontramos en la Tierra. Cada época de la técnica, desde la piedra afilada hasta los miles de millones de interruptores diminutos de un teléfono, nació de entender cómo se comportan los materiales. El libro irá de la historia de la materia a las unidades de medida comunes, y luego a cuán seguros podemos estar de cualquier medición.

Preguntas

1. ¿Por qué el libro empieza con una nube en el espacio que está a miles de años luz?

- a. Para mostrar que las fuerzas que le dan forma son las mismas con las que tratamos en la Tierra
 - b. Para mostrar que el espacio se rige por reglas muy distintas de las nuestras
 - c. Para mostrar que solo los astrónomos necesitan de verdad la física
 - d. Para mostrar que la nube pronto llegará a la Tierra
2. ¿Qué tenían en común la Edad de Piedra, la del Bronce y la del Hierro?
- a. Cada una empezó cuando se vio una estrella nueva en el cielo
 - b. Cada una se construyó sabiendo cómo se comporta un material y cómo trabajarlo
 - c. Cada una terminó cuando la gente olvidó cómo hacer herramientas
 - d. Cada una lleva el nombre de quienes inventaron sus herramientas
3. ¿Qué hace del MOSFET un buen símbolo de nuestra Era de la Información?
- a. Es la máquina más grande jamás construida
 - b. Es famoso y casi todo el mundo lo conoce
 - c. Se han fabricado más que de cualquier otro objeto, y está en casi todos los aparatos
 - d. Fue el primer aparato que usó la electricidad
4. ¿Por qué dice el libro que los científicos se esfuerzan tanto en decir cuán seguros están de una medición?
- a. Porque las mediciones siempre son exactas

- b. Porque las unidades cambian de un país a otro
- c. Porque en física solo se permiten estimaciones a ojo
- d. Porque ninguna medición es perfecta, y ser honesto sobre sus límites es parte de hacer ciencia

Respuestas

1. **a)** Las fuerzas que dan forma a esa nube son las mismas que actúan cuando lanzamos un cohete o calentamos una casa.
2. **b)** Todas esas épocas descansaban en entender un material, y ese entendimiento es física aprendida con las manos.
3. **c)** Casi nadie conoce su nombre, pero existen más de estos interruptores diminutos que de cualquier otro objeto, dentro de teléfonos, coches y hornos.
4. **d)** La última parte del camino trata de cuánto puede acercarse a la verdad cualquier medición y de decir exactamente cuán seguro se está.

Ejercicios

1. Nombre un oficio que conozca y que no se llame física, y explique qué parte de la física tiene que entender quien lo ejerce, como hace el libro con el piloto y el fisioterapeuta.

Pista: Piense en qué empuja, tira, se calienta o se mueve en ese trabajo.

Respuesta: Por ejemplo, un repartidor tiene que calcular cuánto tarda en frenar una furgoneta cargada, y eso es cuestión de fuerzas y movimiento. Como el piloto que debe entender cómo el viento desvía el avión, el repartidor usa la física a diario sin llamarla así.

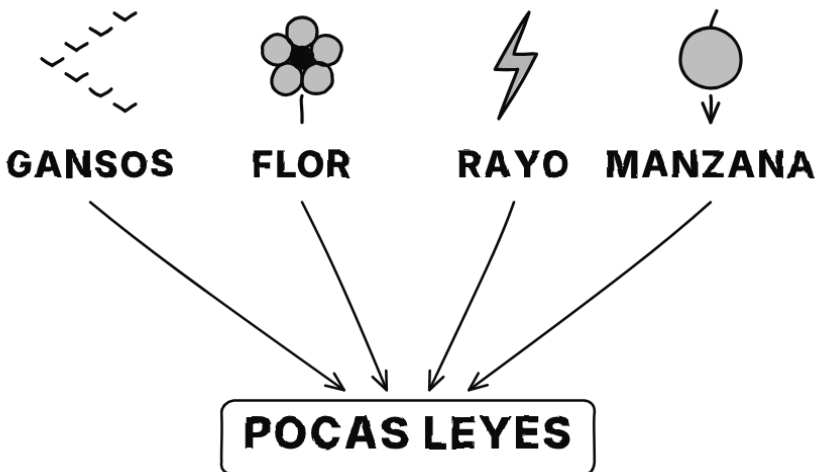
2. ¿Por qué importa que los científicos de todas partes usen el mismo metro, el mismo segundo y el mismo kilogramo? Explíquelo con un ejemplo cotidiano.

Pista: Imagine a dos personas en países distintos que intentan comparar una medición.

Respuesta: Un sistema común de unidades permite que todos hablen un mismo lenguaje de medida. Un gramo en la báscula de una cocina de un país es el mismo gramo en la balanza de una farmacia de otro, así que un resultado medido en un lugar significa lo mismo en todas partes.

Una ley para las papas fritas y las baterías

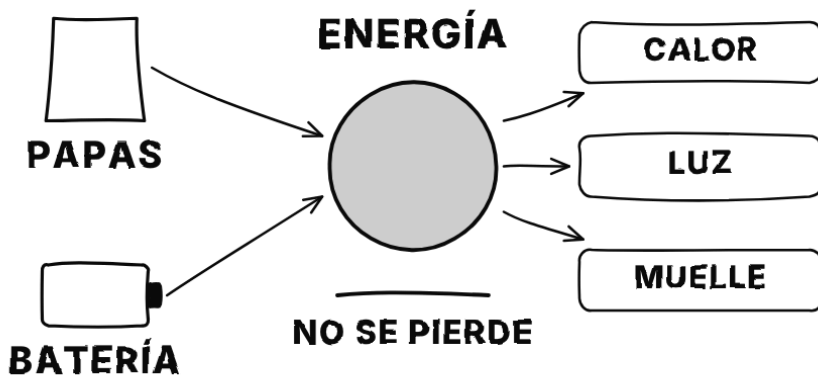
Imagine una bandada de gansos volando hacia el sur en otoño, en una larga V que cruza el cielo. Ahora imagine una flor, el destello de un rayo, una manzana que cae de una rama. Uno esperaría que cada cosa necesitara su propia explicación, un reglamento aparte para las aves, para las flores, para las tormentas. La sorpresa con la que el libro abre este capítulo es la contraria: hasta los gansos en su formación en V siguen las leyes de la física, las mismas leyes que gobiernan todo lo demás.



Muchas cosas, pocas leyes

El mundo tiene un detalle infinito. Cada día vemos una enorme variedad de cosas y sucesos, y a lo largo de los siglos la gente ha reunido montañas de datos sobre ellos, desde el vuelo de las aves y los colores de las flores hasta las partículas más diminutas, los mayores grupos de galaxias, el paso del tiempo y el comienzo del universo. Y sin embargo, ante todo ese detalle, hemos descubierto que un conjunto sorprendentemente pequeño de leyes, que encajan entre sí, explica lo que vemos. Las personas buscan de forma natural patrones y orden, y resulta que la naturaleza colabora: en el fondo es ordenada y sencilla. Ese orden oculto es justo lo que hace de la física un placer de estudiar y no una carga.

Aquí está el ejemplo del propio libro. ¿Qué tienen en común una bolsa de papas fritas y la batería de un coche? Parecen pertenecer a mundos distintos, una a la cocina y la otra al garaje. Pero ambas guardan energía que puede convertirse en otras formas: las papas, en el calor y el movimiento de su cuerpo; la batería, en la chispa que arranca un motor. Una sola ley las une, la ley de conservación de la energía: la energía puede pasar de una forma a otra, pero nunca se pierde. La misma ley enlaza las calorías impresas en un paquete de aperitivos y la carga de su teléfono, y abarca también el calor, la luz y el muelle tenso de un reloj antiguo. Una vez que conoce esa regla, todas estas formas de energía dejan de ser una lista para memorizar y se convierten en una sola historia contada en escenarios distintos.



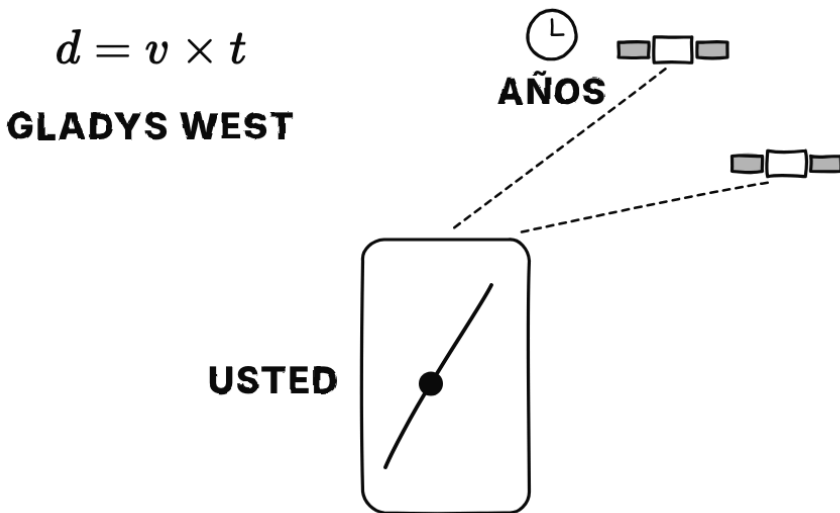
La energía cambia de forma

Así que el libro hace su promesa. Su tema es que las leyes físicas unen las cosas y que la naturaleza es, en el fondo, sencilla. Por el camino conocerá los temas más importantes de la física, pero el verdadero premio es una habilidad: la capacidad de tomar unas pocas leyes y aplicarlas mucho más allá de lo que un solo libro podría abarcar. Esa habilidad, pensar con cuidado con un pequeño conjunto de reglas, ayuda en el estudio y en cualquier oficio.

Entonces, ¿qué es exactamente la física? La ciencia, en palabras del libro, son las verdades generales de la naturaleza, sus teorías y leyes, junto con todo el conocimiento que contienen, y los científicos siguen ampliando ese conocimiento y enunciando las leyes con más claridad. La física es la parte de la ciencia que describe cómo la energía, la

materia, el espacio y el tiempo actúan unos sobre otros, y sobre todo se pregunta qué mecanismo básico hay debajo de cada suceso. Su alcance va desde diminutas partículas con carga eléctrica hasta el movimiento de personas, coches y naves espaciales, y casi todo lo que le rodea puede describirse con bastante exactitud mediante sus leyes.

Tome un teléfono inteligente. La física describe cómo se mueve la electricidad por sus circuitos, y los ingenieros usan ese conocimiento para elegir los materiales y trazar los circuitos al fabricarlo. Abra luego el mapa en el mismo teléfono: el punto azul que le sigue por la calle descansa en una relación sencilla de la física, entre la distancia que algo recorre, lo rápido que va y el tiempo que tarda. Para situarle correctamente, el sistema tiene que tener en cuenta las colinas y los valles del terreno, las distancias exactas a los satélites de arriba e incluso un efecto sutil por el que el tiempo pasa a un ritmo ligeramente distinto para los satélites que para nosotros. La mayoría de estos cálculos nació del trabajo de Gladys West, matemática e informática que programó los primeros ordenadores capaces de localizar lugares de la Tierra con gran precisión. Cada vez que su teléfono le dice cuánto durará un trayecto, está usando sus métodos y estas leyes de la física.



La física detrás del mapa

Para recordar

El mundo es enormemente variado, pero un pequeño conjunto de leyes que encajan entre sí explica la mayor parte de lo que vemos. En el fondo la naturaleza es ordenada y sencilla, y eso es lo que hace agradable estudiar física. La ley de conservación de la energía, que la energía cambia de forma pero nunca se pierde, une cosas tan distintas como las papas fritas, las baterías, el calor y la luz. La física describe cómo la materia, la energía, el espacio y el tiempo actúan unos sobre otros, y busca el mecanismo básico detrás de cada suceso. Los circuitos de su teléfono y su mapa funcionan con estas leyes.

Preguntas

1. ¿Qué descubrió la gente después de reunir montañas de datos sobre la naturaleza?
 - a. Que cada tipo de cosa necesita su propio conjunto de reglas
 - b. Que un conjunto sorprendentemente pequeño de leyes que encajan entre sí explica la mayor parte
 - c. Que la naturaleza no tiene orden y solo puede enumerarse
 - d. Que solo los objetos más grandes siguen leyes físicas
2. ¿Qué tienen en común una bolsa de papas fritas y la batería de un coche?
 - a. Ambas guardan energía que puede convertirse en otras formas
 - b. Ambas están hechas de los mismos materiales
 - c. Ambas pierden su energía sin dejar rastro una vez usadas
 - d. Ambas funcionan solo cuando están calientes
3. ¿Qué se pregunta la física, ante todo, sobre cada suceso de la naturaleza?
 - a. Lo bonito que es
 - b. Quién lo vio primero
 - c. Qué mecanismo básico hay debajo
 - d. Si se puede vender
4. ¿Por qué el mapa de un teléfono tiene que tener en cuenta los satélites e incluso el propio tiempo?
 - a. Porque los satélites necesitan reparaciones frecuentes

- b. Porque el teléfono no tiene reloj propio
- c. Porque los mapas cambian de forma cada día
- d. Porque situarle depende de cuán lejos, cuán rápido y cuánto tiempo, y allá arriba el tiempo pasa algo distinto

Respuestas

- 1. **b)** Ante todo ese detalle, descubrimos que un conjunto pequeño y unificado de leyes explica lo que vemos.
- 2. **a)** Cada una almacena energía que se transforma en otras formas, y la ley de conservación de la energía abarca a ambas.
- 3. **c)** La física describe cómo la energía, la materia, el espacio y el tiempo actúan unos sobre otros y busca el mecanismo básico detrás de cada suceso.
- 4. **d)** El punto azul descansa en la relación entre distancia, velocidad y tiempo, y el cálculo debe contar con las distancias exactas a los satélites y con el ritmo algo distinto del tiempo para ellos.

Ejercicios

- 1. El libro une con una sola ley las calorías de los alimentos, las baterías, el calor, la luz y los muelles de reloj. Elija uno y describa cómo cambia de forma su energía, usando la ley de conservación de la energía.

Pista: Empiece por dónde está almacenada la energía y luego siga adónde va.

Respuesta: Por ejemplo, el muelle tenso de un reloj almacena energía; al destensarse, esa energía hace girar los engranajes y se convierte en movimiento, y un poco se vuelve calor por el rozamiento. La energía cambia de forma por el camino, pero nada se pierde.

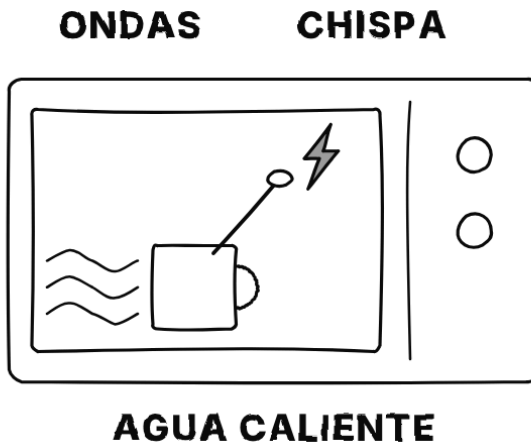
2. ¿Por qué dice el libro que aprender unas pocas leyes vale más que memorizar muchos datos? Explíquelo con sus palabras.

Pista: Piense en lo que puede hacer con una regla y no con una lista.

Respuesta: Un conjunto corto de leyes le permite entender cosas que nunca ha estudiado, porque conecta muchos temas en apariencia sin relación. Una lista de datos solo cubre lo que contiene; una ley puede aplicarse mucho más allá de cualquier libro, en el estudio y en cualquier trabajo.

Del microondas al átomo

Ponga una taza de agua en el microondas y enciéndalo un minuto. La taza sale apenas tibia en algunas partes, pero el agua de dentro está caliente. Ahora imagine lo mismo con una cuchara de metal dentro de la taza: vería chispas chasqueando contra la pared del horno, y todos los manuales advierten que nunca se haga. ¿Por qué el agua se calienta y la cuchara echa chispas? No hace falta ser científico para preguntarlo, y lo que quiere decir el libro es que la física da la respuesta a la gente corriente, no solo a los expertos.



El agua se calienta, la cuchara chispea

La física ayuda a entender cómo un horno microondas calienta la comida, por qué el metal debe quedar fuera y por qué estos hornos podrían perturbar un marcapasos. Ayuda a sopesar los peligros de la radiación con calma, en lugar de por miedo o por rumores. Explica por qué un radiador negro ayuda a llevarse el calor del motor de un coche, y por qué un tejado blanco mantiene más fresco el interior de una casa en un día caluroso. Imagine dos coches aparcados al sol de verano, uno negro y otro blanco: dentro del blanco se está más a gusto, y la razón es la misma física que hace que un tejado blanco refresque una casa. Incluso da sentido al encendido de un coche y a las señales eléctricas que corren por los nervios de su propio cuerpo. Nada de esto necesita un laboratorio, solo una intuición de las reglas básicas.

La física es también el suelo sobre el que se apoyan muchas otras materias. La química trata de cómo se comportan juntos los átomos y las moléculas, así que nace directamente de la física de los átomos. La mayoría de las ingenierías son simplemente física puesta a trabajar. En arquitectura, la física mantiene en pie los edificios y decide cómo suenan y cómo se calientan, se iluminan y se refrescan. Los geólogos se apoyan en ella para fechar las rocas por su radiactividad natural, para estudiar los terremotos y para seguir el calor del interior de la Tierra. Algunos campos llevan incluso la palabra en el nombre, como la biofísica y la geofísica, que son medio física de nacimiento.



La física bajo las ciencias

Los seres vivos también están llenos de física. En la escala más pequeña ayuda a describir las paredes de las células vegetales, como los pequeños ladrillos ordenados que se ven en la piel de una cebolla al microscopio, y las finas membranas que envuelven las células animales, donde ocurre algo tan básico como el disparo de un nervio. En la escala del cuerpo entero explica el calor que desprendemos, el trabajo que hacen nuestros músculos y la potencia que entregan. La medicina la usa constantemente: los rayos X, las resonancias magnéticas y las mediciones del flujo sanguíneo por ultrasonido son todo física. El tratamiento también puede ser física, como cuando se dirige radiación a un tumor para combatir el cáncer. Y explica nuestros sentidos: cómo un instrumento musical produce sonido,

cómo el ojo distingue los colores, cómo un láser transporta información.

El libro añade un par de imágenes que al principio parecen no tener relación. Una es un horno microondas; la otra, una exploración de un cerebro humano. El vínculo es que ambos trabajan con el mismo tipo de ondas invisibles; el horno las usa para calentar la comida, el escáner para construir una imagen del cerebro tan precisa que muestra dónde está un tumor. Así que la caja de su cocina y la máquina del hospital son primas, construidas sobre la misma física.

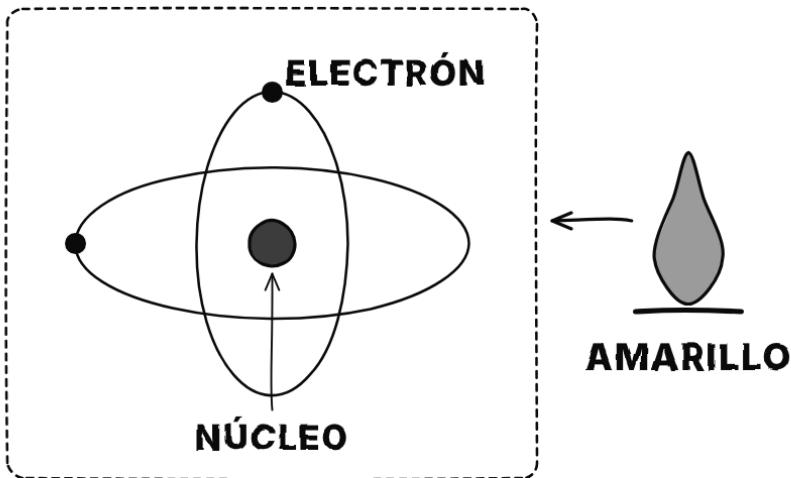
No puede estudiar todos estos usos, y el libro dice que no hace falta. Lo que vale la pena tener son las leyes básicas y la habilidad de aplicarlas, que además afina su capacidad de resolver problemas en general. Como la física guarda las partes más básicas de la ciencia, todas las demás ciencias la usan, y aprenderla hace que sean más fáciles de entender.

¿De dónde vienen estas leyes? El libro es claro: las leyes de la naturaleza no las inventan las personas. Están incorporadas al universo; no las hicimos y no podemos cambiarlas, solo podemos descubrirlas y llegar a entenderlas. Descubrir las es una aventura profundamente humana, llena de misterio, imaginación, lucha, triunfo y decepción. A Isaac Newton tuvieron que convencerle de publicar su obra revolucionaria, y ya mayor dirigió la Real Casa de la Moneda, donde puso estrías en el canto de las monedas para que los tramposos no pudieran recortarles plata. Marie Curie gastó su propio dinero en sus primeras investigaciones y dañó su salud por la exposición a la radiación; sigue siendo la única persona que ha ganado premios Nobel de física y de química. Y la base de todo

descubrimiento así es la observación: la ciencia tiene que describir el mundo como es en realidad, no como nos gustaría imaginarlo.

Empieza con la curiosidad corriente. Miramos el cielo y nos preguntamos si cierto tipo de nube significa que se acerca una tormenta. Cuando nos lo tomamos en serio, nos organizamos: reunimos y ordenamos con cuidado nuestras observaciones, intentamos medir con más exactitud, hacemos pruebas controladas cuando podemos y anotamos ideas sobre cómo encajan los hechos. Con todo eso construimos las herramientas que usa la ciencia para resumir lo que ha encontrado, y la primera es el modelo.

MODELO



El modelo planetario del átomo

Un modelo es una imagen de algo demasiado difícil, o imposible, de mostrar directamente. Lo respaldan las pruebas, pero solo funciona bien dentro de ciertos límites. El ejemplo del libro es el modelo planetario del átomo, en el que diminutos electrones giran alrededor del centro del átomo como los planetas alrededor del Sol. Nadie puede ver de verdad a un electrón dando vueltas, pero esta imagen mental ayuda a explicar cosas que sí vemos, como los colores concretos de la luz que emite un gas caliente.

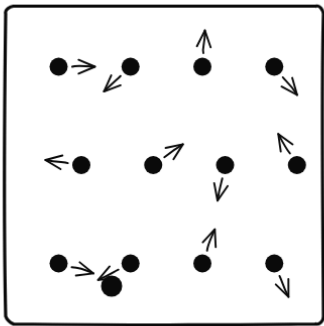
Pruébalo

Mire una farola de sodio, o eche una pizca de sal de mesa en la llama de gas de la cocina. Verá la llama encenderse de un amarillo anaranjado intenso en vez de azul. Ese color fijo, el mismo cada vez, es el tipo de observación que el modelo del átomo se construyó para explicar.

Los físicos usan modelos de muchas maneras: para pensar una situación y calcular una respuesta, o para recrearla como simulación en un ordenador. Una aplicación del tiempo que muestra una tormenta moviéndose por un mapa es un modelo de este tipo: nadie puede ver toda la atmósfera a la vez, así que un ordenador la representa para ayudar a prever lo que viene. Un gas es otro buen caso: sus átomos y moléculas son demasiado pequeños para verlos, así que los imaginamos como diminutas partículas que rebotan, para dar sentido a lo que nos dicen los instrumentos. Para un científico, una teoría no es una conjetura sino una explicación comprobable de patrones de la naturaleza, respaldada por pruebas y confirmada muchas veces por distintos grupos de investigadores. Y si alguna vez un experimento muestra que algo que predice una teoría es falso, la

teoría se descarta o se cambia, por ejemplo reduciendo los casos que pretende abarcar. Algunas explicaciones científicas necesitan una imagen así y otras no, y en qué se diferencia un modelo de una teoría y de una ley es el tema de la parte siguiente.

MODELO DE GAS



Un gas como partículas que rebotan

Para recordar

La física es útil para todos: explica el microondas, el tejado blanco, el radiador del coche y las señales de nuestros nervios. La química, la ingeniería, la arquitectura, la geología, la biología y la medicina descansan en ella. Lo que importa no es aprender todos los usos, sino conocer las leyes básicas y cómo aplicarlas. Las leyes de la naturaleza se descubren, no se inventan, y lo primero es observar el mundo como es en realidad. Un modelo es una imagen de algo que no podemos ver directamente, como el átomo dibujado como un diminuto sistema solar; ayuda a explicar lo que observamos, pero solo dentro de ciertos límites.

Preguntas

1. ¿Qué une a un horno microondas y a un escáner cerebral?
 - a. Ambos están pensados para que solo los usen los médicos
 - b. Ambos trabajan con el mismo tipo de ondas invisibles, usadas para tareas distintas
 - c. Ambos calientan todo lo que se pone dentro
 - d. Ambos se inventaron para combatir el cáncer
2. ¿Por qué la química nace directamente de la física?
 - a. Porque la química trata de átomos y moléculas, que describe la física de los átomos
 - b. Porque químicos y físicos usan los mismos edificios
 - c. Porque la química es más antigua que la física

- d. Porque la química no necesita ningún experimento
3. ¿Para qué necesitamos un modelo del átomo?
- a. Porque el átomo cambia de forma todo el tiempo
 - b. Porque el modelo prueba que los electrones son planetas
 - c. Porque el átomo es demasiado pequeño para mostrarlo directamente, y la imagen explica lo que podemos observar
 - d. Porque un modelo siempre es exacto en todos los casos
4. ¿Qué le pasa a una teoría si un experimento muestra que una de sus predicciones es falsa?
- a. Se mantiene sin cambios, porque las teorías nunca se equivocan
 - b. Se convierte en una ley
 - c. Se transforma en un modelo
 - d. Se descarta o se cambia, por ejemplo reduciendo los casos que abarca

Respuestas

1. **b)** El horno usa las ondas para calentar la comida; el escáner, para construir una imagen del cerebro tan precisa que localiza un tumor.
2. **a)** La química estudia cómo se comportan juntos los átomos y las moléculas, así que descansa en la física de los átomos.
3. **c)** Nadie puede ver a un electrón dando vueltas, pero la imagen ayuda a explicar cosas que sí vemos, como los colores que emite un gas caliente.
4. **d)** Una teoría es una explicación comprobada; cuando una predicción falla, la teoría se descarta o se ajusta.

Ejercicios

1. El libro enumera muchos campos que descansan en la física. Elija dos y describa, para cada uno, algo que la física hace allí.

Pista: Piense en la geología, la arquitectura o la medicina.

Respuesta: Por ejemplo, en geología la física sirve para fechar las rocas por su radiactividad natural y para estudiar los terremotos; en medicina da los rayos X, las resonancias magnéticas y las mediciones del flujo sanguíneo por ultrasonido.

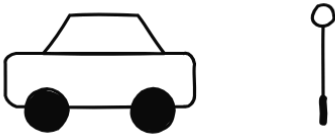
2. Explique con sus palabras qué es un modelo y por qué la imagen planetaria del átomo es útil aunque nadie pueda ver moverse a un electrón.

Pista: Pregúntese para qué sirve un modelo y qué nos permite explicar de lo que sí podemos observar.

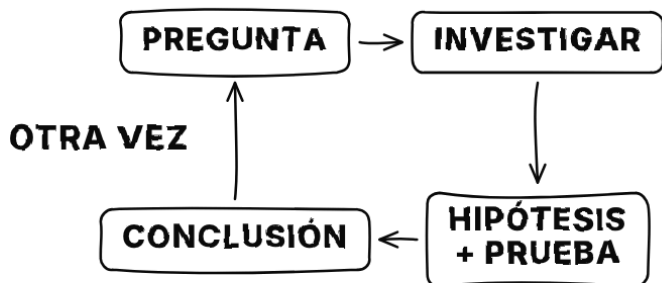
Respuesta: Un modelo es una imagen de algo demasiado difícil o imposible de mostrar directamente; lo respaldan las pruebas, pero solo funciona dentro de ciertos límites. La imagen planetaria del átomo ayuda a explicar cosas que vemos, como los colores concretos de la luz que emite un gas caliente.

Leyes, teorías y un coche que no arranca

Es una mañana fría, gira la llave y el coche no arranca. Nadie se queda mucho tiempo ahí sin hacer nada; empieza a preguntarse por qué y a hacer conjeturas. Quizá no hay aceite en el motor. Así que levanta el capó, saca la varilla y mira: el aceite está justo donde debe estar. Esa conjetura queda descartada y pasa a la siguiente, quizá la batería. Sin bata de laboratorio, acaba de hacer lo que hacen los científicos.



NO ARRANCA ACEITE OK



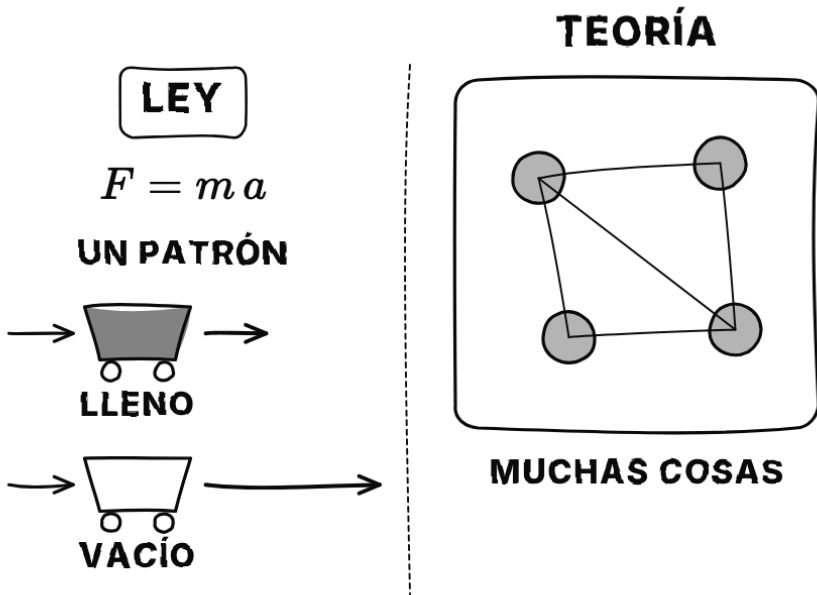
El método como ciclo

El libro llama a esto el método científico y lo describe en unos pocos pasos. Nota algo y se hace una pregunta al respecto. Investiga el asunto para saber qué podría haber detrás. Propone una explicación posible, una hipótesis, y luego la pone a prueba con un experimento. Por último mira lo que mostró la prueba y saca una conclusión; si la conjetura falló, como la del aceite, hace una nueva y vuelve a empezar. El método no es solo para la ciencia; sirve para muchos enigmas cotidianos y puede adaptarse al problema.

Esta forma de trabajar tiene una larga historia. Hace mil años, en El Cairo, un sabio llamado Ibn al-Haytham hizo grandes avances en la comprensión de la luz y de cómo vemos. Hizo algo aún más importante: dijo a los científicos que estuvieran dispuestos a desechar lo que les habían enseñado, que fueran enemigos de todo lo que leían y que confiaran solo en las pruebas que pudieran comprobar. Insistió en probar las cosas una y otra vez, y advirtió que nuestros sentidos y nuestras propias expectativas pueden engañarnos. Su manera de pensar fue una forma temprana del método que usamos hoy.

De todas esas pruebas salen dos tipos de afirmaciones en las que se apoyan los científicos: leyes y teorías. Ambas nacen de hipótesis puestas a prueba, y ambas están respaldadas por pruebas, pero difieren en tamaño y en forma. Una ley es corta y muy general: una breve afirmación de un patrón de la naturaleza, confirmada por experimentos repetidos y a menudo escrita como una sola ecuación. Un ejemplo es la ley que ya conoce: en ningún proceso se pierde energía, solo cambia. Otro es la segunda ley del movimiento de Newton, que relaciona el empuje sobre un objeto, cuánta materia tiene y con qué rapidez cambia su velocidad. Empuje con el mismo impulso un carrito de supermercado lleno y uno vacío, y el vacío

acelera mucho más; la ley de Newton dice exactamente cómo se relacionan empuje, masa y cambio de velocidad.

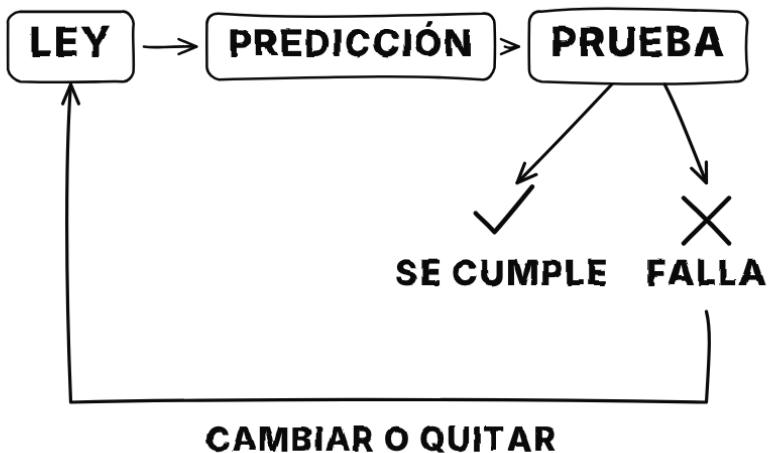


Ley frente a teoría

Una teoría, como vimos, es una explicación bien comprobada, pero mucho más grande que una ley. No cabe en una sola línea; la teoría de la evolución y la teoría de la relatividad son ejemplos demasiado ricos para llamarlos leyes. La forma más sencilla de distinguirlas: una ley describe un tipo de acción, mientras que una teoría explica toda una familia de sucesos relacionados. Y mientras una ley es un punto de partida sobre el que construye el método científico, una teoría es donde termina ese largo proceso. Las reglas que valen solo en ámbitos reducidos suelen llamarse principios, como una que vale solo para

líquidos y gases, aunque la gente a menudo es imprecisa sobre dónde termina una ley y empieza un principio.

Las leyes y las teorías no son solo resúmenes ordenados de hechos antiguos. A menudo, una vez establecidas, señalan a los científicos algo que nadie había encontrado aún, a veces incluso un objeto o un suceso que nunca se había visto. Estas predicciones están entre los grandes triunfos de la ciencia, y solo son posibles porque el universo es ordenado en el fondo. Pero si un experimento no confirma la predicción, la ley o la teoría es errónea, por elegante o cómoda que sea.



Válida hasta que se contradiga

Eso significa que ninguna ley puede conocerse con certeza total, porque nadie puede hacer todos los experimentos posibles en todas las situaciones posibles. Así que los físicos tratan las leyes y las teorías como válidas hasta que algo las contradiga. Si un experimento cuidadoso, que otros pueden repetir, va en contra de una ley bien establecida, la ley tiene que cambiarse o desecharse por completo. Es como el coche otra vez: la conjetura del aceite parecía razonable hasta que la varilla dijo lo contrario, y entonces hubo que descartarla. El libro compara la ciencia con navegar por un océano sin cartografiar: se hacen descubrimientos, se forman leyes y teorías, y el mundo parece más hermoso por lo que hemos aprendido.

Para recordar

El método científico es un ciclo: notar y preguntar, investigar, proponer una hipótesis, probarla, concluir y volver a intentarlo si la conjetura falla. Una ley es una afirmación corta y general de un patrón de la naturaleza, a menudo una sola ecuación; una teoría es una gran explicación de toda una familia de sucesos. Las leyes y las teorías pueden predecir cosas nunca vistas, pero una predicción fallida demuestra que son erróneas. Ninguna ley es nunca segura; cada una vale solo hasta que un experimento fiable la contradiga.

Preguntas

1. En el ejemplo del coche, ¿qué debe hacer cuando resulta que el aceite está bien?

- a. Concluir que el coche no tiene nada
 - b. Seguir creyendo que la causa es el aceite
 - c. Proponer una nueva explicación y probarla a su vez
 - d. Parar, porque el método ha fallado
2. ¿Cuál es la diferencia más clara entre una ley y una teoría?
- a. Una ley describe un tipo de acción; una teoría explica toda una familia de sucesos relacionados
 - b. Una ley es una conjetura, mientras que una teoría está demostrada
 - c. Una teoría siempre es más corta que una ley
 - d. Solo las teorías están respaldadas por pruebas
3. ¿Por qué ninguna ley de la naturaleza puede conocerse con certeza total?
- a. Porque las leyes cambian de significado con el tiempo
 - b. Porque los científicos discrepan sobre cada ley
 - c. Porque las leyes son solo opiniones
 - d. Porque nadie puede hacer todos los experimentos posibles en todas las situaciones posibles
4. ¿Qué aportó Ibn al-Haytham a la manera de hacer ciencia?
- a. Dijo que los científicos debían fiarse de lo que leían en los libros antiguos
 - b. Dijo que los científicos debían confiar solo en pruebas comprobadas y probar las cosas una y otra vez
 - c. Dijo que nuestros sentidos nunca se equivocan
 - d. Dijo que los experimentos sobran una vez escrita una ley

Respuestas

1. **c)** Cuando una hipótesis no supera su prueba, se hace una nueva y se vuelve a recorrer el ciclo.
2. **a)** Ambas están comprobadas y respaldadas por pruebas, pero una ley enuncia un patrón brevemente y una teoría explica muchos relacionados.
3. **d)** Una ley solo puede comprobarse en los casos probados, así que vale hasta que un experimento fiable la contradiga.
4. **b)** Instó a los científicos a ser enemigos de lo que leían, a apoyarse en pruebas, a repetir los ensayos y a recordar que los sentidos y las expectativas pueden engañar.

Ejemplos resueltos

El coche que no arranca Intenta arrancar su coche y no arranca. Use el método científico para poner a prueba la idea de que el motor no tiene aceite.

Notar y preguntar: el coche no arranca, ¿por qué?

Investigar: averiguar las distintas razones por las que un coche puede no arrancar.

Proponer una hipótesis: quizá el motor no tiene aceite.

Probarla: abrir el capó y comprobar el nivel de aceite; está en un nivel aceptable.

Concluir: el aceite no es el problema, así que se propone una nueva hipótesis y se repite el proceso.

Respuesta: La prueba descarta el aceite, y la búsqueda sigue con una nueva hipótesis.

Ejercicios

1. Su teléfono de repente no carga. Describa cómo usaría el método científico para averiguar por qué, con al menos una hipótesis y su prueba.

Pista: Empiece por hacer la pregunta y luego elija una causa posible que pueda comprobar.

Respuesta: Pregunta: ¿por qué no carga el teléfono? Hipótesis: el cable está defectuoso. Prueba: usar otro cable que funcione con otro aparato. Si el teléfono ahora carga, la hipótesis se ve respaldada; si no, el cable queda descartado y se prueba una nueva hipótesis, como el cargador o el enchufe.

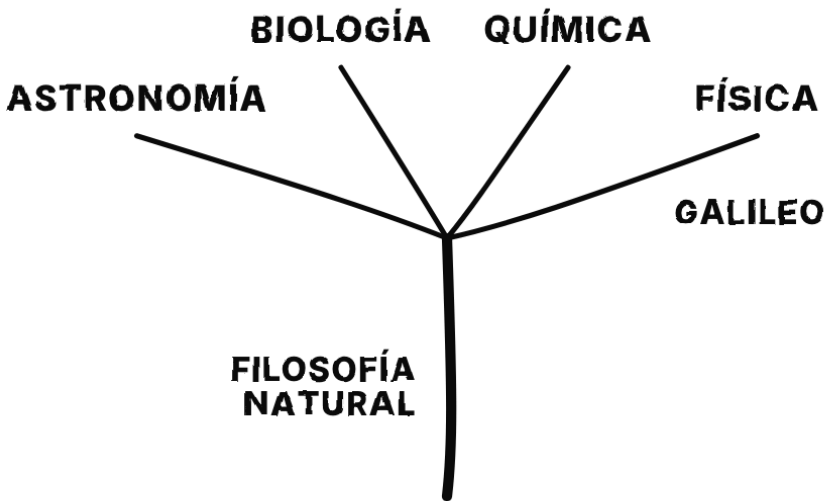
2. Un científico tiene una teoría hermosa y cómoda, pero un experimento cuidadoso, que otros pueden repetir, no confirma lo que predice. ¿Qué dice el libro que debe ocurrir, y por qué?

Pista: Pregúntese qué cuenta más en la ciencia: la elegancia o el experimento.

Respuesta: La teoría es errónea y debe cambiarse o desecharse, por elegante o cómoda que sea. El experimento es el juez final, y las leyes y teorías valen solo hasta que un experimento fiable las contradiga.

Cuando las reglas de todos los días se acaban

Lance un manojito de llaves de una mano a la otra. Sabe, sin pensarlo, más o menos dónde caerán; su cerebro predice vuelos así desde la infancia. Las reglas de la física escritas hace siglos predicen el mismo arco casi a la perfección. Pero lleve esas mismas reglas al interior de un átomo, o a una sonda que pasa rozando el Sol, y empiezan a dar respuestas equivocadas. ¿Cómo pueden fallar allá unas reglas que funcionan tan bien en su mano? El libro responde contando cómo creció la física.



La filosofía natural se ramifica

Durante la mayor parte de la historia, la física no fue una materia propia. La palabra misma viene del griego para naturaleza, y el estudio de la naturaleza se llamaba filosofía natural. Desde la Antigüedad hasta el Renacimiento, la filosofía natural lo reunía todo: astronomía, biología, química, física, matemáticas y medicina. El pensador griego Aristóteles es el ejemplo del libro; escribió sobre física, pero también sobre los animales, el alma, la política y la poesía, todo como partes de una gran indagación.

A medida que el saber se acumuló en los últimos siglos, nadie podía abarcarlo todo, y la filosofía natural se ramificó en campos separados. La física se quedó con la parte más básica, y por eso, como vimos, las demás ciencias todavía se apoyan en ella. El libro rinde homenaje a dos figuras que impulsaron este cambio: Ibn al-Haytham, a quien conocimos como pionero de la comprobación, y Galileo, tan importantes para las matemáticas, la óptica, la física y la astronomía que un científico posterior puso a ambos en la portada de su obra principal. Piense en un negocio familiar que se convirtió en una gran empresa: al principio una persona lo hacía todo, luego se formaron departamentos separados, pero el núcleo original sigue manteniéndolos unidos.

La física que creció desde el Renacimiento hasta finales del siglo diecinueve se llama física clásica. A comienzos del siglo veinte una serie de descubrimientos revolucionarios la transformó en lo que llamamos física moderna. La física clásica no es una descripción perfecta del universo, pero es una aproximación excelente mientras se cumplan tres condiciones. Las cosas deben moverse más despacio que alrededor del uno por ciento de la velocidad de la luz; deben ser lo bastante grandes para verse con un microscopio; y la gravedad debe ser débil, como la de la Tierra. Un coche en la autopista, un avión,

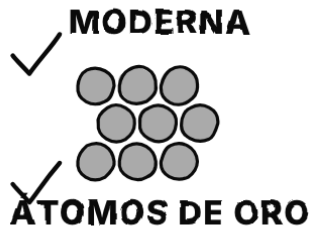
incluso un cohete rumbo a la Luna se mueven mucho más despacio que ese límite, así que las reglas clásicas los describen muy bien.

CLÁSICA

VELOCIDAD $< 1\%$ DE C ✓

TAMAÑO VISIBLE

GRAVEDAD DÉBIL

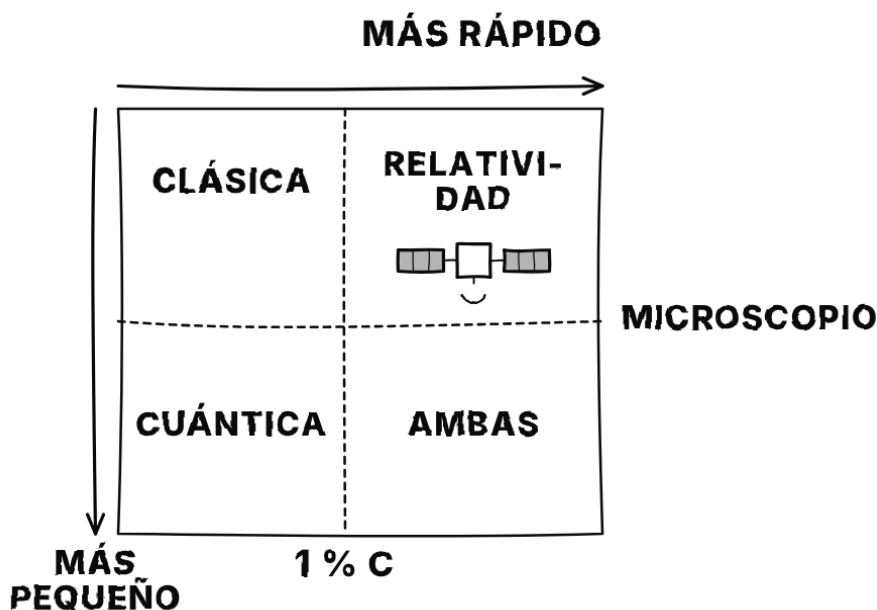


Dónde funciona la física clásica

Los seres humanos vivimos por completo dentro de esas condiciones, y por eso la física clásica parece sentido común mientras que buena parte de la física moderna parece extraña. Justo aquí es donde los modelos se ganan el sueldo: nos dejan imaginar cosas que nunca vivimos, como objetos que corren a velocidades enormes o cosas demasiado pequeñas para nuestros sentidos. Podemos entender un átomo porque podemos imaginarlo, aunque nadie haya visto nunca un átomo a simple vista. Las herramientas nuevas también ayudan; con un microscopio especial que palpa una superficie, los científicos

pueden ahora ver de verdad los átomos separados que forman una lámina de oro, alineados como naranjas en una caja.

La física moderna ha traído algunos de los avances más espectaculares de toda la ciencia. Muchas leyes clásicas tuvieron que cambiarse o abandonarse, y el resultado ha transformado la técnica, la sociedad y nuestra imagen del universo. Como la ciencia ficción, la física moderna está llena de objetos extraños lejos de la vida diaria, pero a diferencia de la ciencia ficción es real. Descansa sobre dos teorías revolucionarias. La relatividad hace falta siempre que algo se mueve más rápido que alrededor del uno por ciento de la velocidad de la luz, o está en una gravedad fuerte, como la que hay cerca del Sol. La mecánica cuántica hace falta para todo lo que es demasiado pequeño para verse con un microscopio. Los satélites que ponen el punto azul en el mapa de su teléfono son un caso real en que las reglas de todos los días no bastan del todo: como oímos, para ellos el tiempo pasa a un ritmo algo distinto, y el sistema tiene que tenerlo en cuenta.



Qué teoría dónde

Junte las dos teorías y obtendrá la mecánica cuántica relativista, que se ocupa de cosas diminutas que se mueven muy deprisa o sienten una gravedad fuerte. Es la mejor teoría para todo que tenemos, pero es tan exigente en matemáticas que los científicos la usan solo cuando no hay más remedio, y usan las teorías más sencillas siempre que son lo bastante exactas. Entonces, ¿por qué el libro dedica la mayor parte de su tiempo a la física clásica? Por dos razones: describe la vida diaria con gran exactitud, y hace falta antes de poder entender en absoluto la física moderna. El libro añade una nota alentadora: una cantidad sorprendente de física moderna puede hacerse con las matemáticas corrientes del colegio.

Termina con una pequeña comprobación de lo visto. Si un amigo le dice que ha aprendido una nueva ley de la naturaleza, usted ya sabe algo antes de que diga otra palabra: será una afirmación corta de una regla que la naturaleza siempre sigue. Si en cambio dice que ha aprendido una teoría, puede esperar algo mucho más amplio, una explicación que abarca toda una gama de sucesos relacionados.

Para recordar

La física nació de la filosofía natural, un gran estudio único de la naturaleza que se ramificó en ciencias separadas, y la física se quedó con la parte más básica. La física clásica funciona de maravilla mientras las cosas vayan más despacio que alrededor del uno por ciento de la velocidad de la luz, sean lo bastante grandes para verse con un microscopio y estén en una gravedad débil. Más allá de esos límites necesitamos la física moderna: la relatividad para lo muy rápido y la gravedad fuerte, la mecánica cuántica para lo muy pequeño. Los modelos nos dejan imaginar este mundo poco familiar, y los microscopios nuevos pueden incluso mostrar átomos sueltos. La física clásica sigue en el corazón del libro porque describe muy bien la vida diaria y la física moderna está construida sobre ella.

Preguntas

1. ¿Por qué la física clásica nos parece sentido común?
 - a. Porque fue la primera física que se escribió

- b. Porque es una descripción perfecta de todo el universo
 - c. Porque vivimos donde las cosas son lentas, lo bastante grandes para verse y con gravedad débil, que es donde funciona
 - d. Porque se ha demostrado que la física moderna es falsa
2. ¿Qué teoría hace falta para describir un electrón dentro de un átomo?
- a. La mecánica cuántica, porque el electrón es demasiado pequeño para verse con un microscopio
 - b. La relatividad, porque el átomo tiene una gravedad fuerte
 - c. La física clásica, porque los átomos se mueven despacio
 - d. Ninguna, porque los electrones no se pueden estudiar
3. ¿Por qué el libro dedica la mayor parte de su tiempo a la física clásica?
- a. Porque la física moderna es solo ciencia ficción
 - b. Porque la física clásica es más exacta que la relatividad
 - c. Porque la mecánica cuántica relativista se ha abandonado
 - d. Porque describe la vida diaria con mucha exactitud y hace falta para entender la física moderna
4. ¿Qué le pasó a la filosofía natural a medida que creció el saber?
- a. Siguió siendo una sola materia enseñada por un solo maestro
 - b. Se ramificó en campos separados, y la física se quedó con la parte más básica
 - c. La sustituyó por completo la medicina
 - d. Se convirtió en ciencia ficción

Respuestas

1. **c)** Vivimos por completo dentro de las condiciones en que la física clásica es una aproximación excelente, así que coincide con nuestra experiencia.
2. **a)** La mecánica cuántica hace falta para todo lo que es demasiado pequeño para verse con un microscopio.
3. **d)** La física clásica se ajusta a la vida diaria con gran exactitud, y la física moderna no puede entenderse sin ella.
4. **b)** En los últimos siglos la filosofía natural se dividió en ciencias separadas, y la física se quedó con la parte más básica.

Ejercicios

1. Un amigo le dice que ha aprendido una nueva ley de la naturaleza. ¿Qué puede saber de ella antes de que la describa, y qué sería distinto si hubiera aprendido una teoría?

Pista: Recuerde qué es toda ley y qué es toda teoría.

Respuesta: Cualquier ley será una descripción corta de una regla que siguen todos los procesos naturales. Una teoría sería, en cambio, una explicación amplia y de aplicación general que abarca toda una gama de sucesos relacionados.

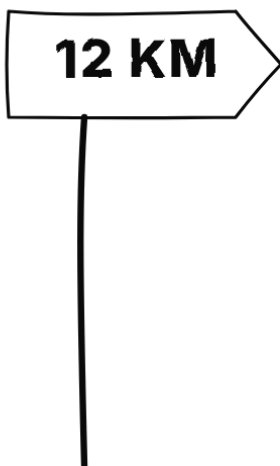
2. Para cada caso, diga si bastan las reglas clásicas de todos los días o qué teoría moderna hace falta: un coche en la autopista; una sonda que pasa rozando el Sol; el interior de un átomo.

Pista: Compruebe las tres condiciones: lento comparado con la luz, lo bastante grande para un microscopio, gravedad débil.

Respuesta: El coche: física clásica, porque es lento, visible y está en gravedad débil. La sonda cerca del Sol: relatividad, por la fuerte gravedad del Sol. El interior de un átomo: mecánica cuántica, porque es demasiado pequeño para verse con un microscopio.

¿Doce qué?

Imagine que un amigo le da indicaciones por teléfono: «Sigue recto doce y luego gira a la izquierda». ¿Doce qué? ¿Doce pasos, doce manzanas, doce millas? El número solo es peor que inútil; suena a ayuda y no dice nada. El libro lo muestra con una viñeta de un poste indicador cuyas distancias están en unidades desconocidas, y llama a esos números desesperadamente inútiles. Ahí empieza la medición en física: un número solo significa algo junto con su unidad.



12 PASOS

-

12 CUADRAS

—

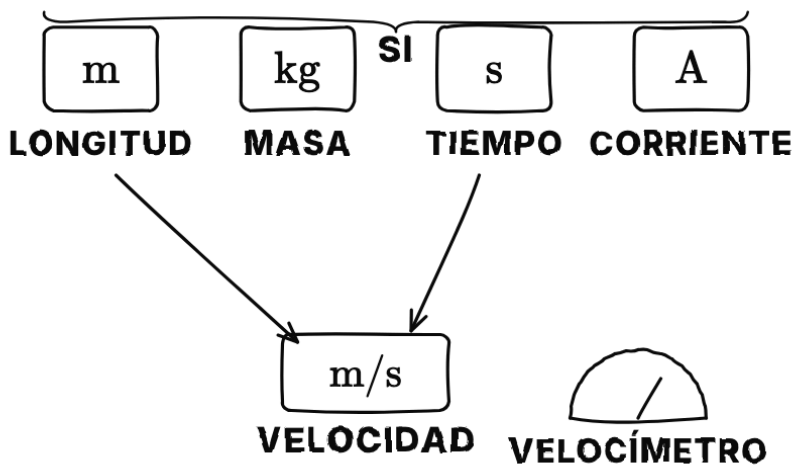
12 MILLAS

—————

¿Doce qué?

Y la física necesita muchos números. Trata con cosas que duran un instante inimaginablemente corto, como la vida de un núcleo atómico, y con cosas tan antiguas como la Tierra. Trata con partículas mucho más pequeñas que un átomo y con distancias hasta el borde del universo conocido; con el empujón diminuto de una pulga que salta y con la enorme atracción entre la Tierra y el Sol. Incluso la distancia a la Luna, que parece enorme, es solo un pasito comparada con las distancias a otros cuerpos del cielo. Poner números a estas cosas, en lugar de solo describirlas con palabras, nos permite entender la naturaleza mucho más a fondo, pero solo si todos nos ponemos de acuerdo en las unidades.

Aquí la naturaleza vuelve a mostrar su sencillez. Casi todo lo que mide la física puede construirse con solo cuatro magnitudes básicas: longitud, masa, tiempo y corriente eléctrica. Algunas magnitudes se definen diciendo cómo medirlas, como medimos una distancia con una regla o un tiempo con un reloj. Otras se definen diciendo cómo calcularlas a partir de esas mediciones; la velocidad media, por ejemplo, es la distancia recorrida dividida entre el tiempo que llevó. El velocímetro de su coche hace esa cuenta por usted continuamente, convirtiendo distancia y tiempo en un solo número en la esfera.

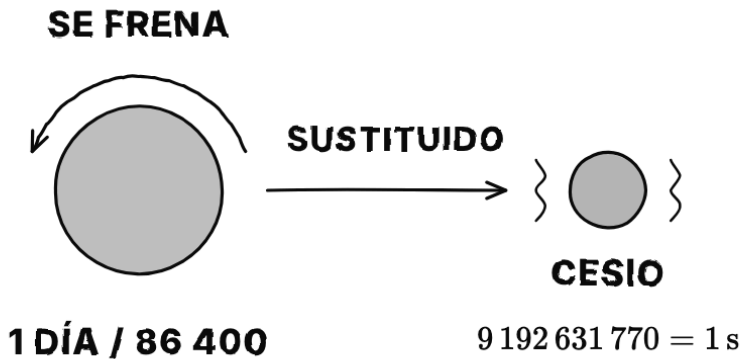


Cuatro unidades base, muchas derivadas

Una unidad es una cantidad acordada y estándar. La longitud de una carrera puede darse en metros para los velocistas o en kilómetros para los fondistas; es la misma clase de magnitud, solo con una unidad de tamaño más práctico. En el mundo se usan dos sistemas de unidades. Uno es el sistema métrico, conocido como SI por su nombre en francés; lo usan prácticamente todos los países, y es el sistema en el que coinciden los científicos de todas partes. El otro es el antiguo sistema inglés o imperial de pulgadas, pies y millas, heredado del Imperio británico y todavía muy usado en Estados Unidos. El libro se atiene al SI, y cuando usa una unidad ajena conocida, como los milímetros de mercurio con que se mide la presión arterial, siempre la relaciona con el SI.

Las cuatro unidades fundamentales son el metro para la longitud, el kilogramo para la masa, el segundo para el tiempo y el amperio para la corriente eléctrica, a la que el libro llegará mucho más adelante. Se llaman fundamentales porque solo pueden definirse describiendo cómo se miden. Todas las demás unidades se construyen a partir de ellas y se llaman unidades derivadas: una unidad de velocidad, por ejemplo, es una longitud dividida entre un tiempo. Cuando su aplicación del tiempo muestra el viento en kilómetros por hora, está usando una unidad derivada hecha de una longitud y un tiempo.

Tomemos el segundo, la unidad de tiempo. Durante muchos años se definió como una fracción fija de un día medio, una parte entre ochenta y seis mil cuatrocientas. Pero el giro de la Tierra se va frenando muy despacio, así que el día se alarga poco a poco, y una unidad ligada a él cambiaría sin que nos diéramos cuenta. Así que los científicos encontraron algo que nunca cambia: se puede hacer que los átomos de cesio vibren de una forma extremadamente regular, y esas vibraciones pueden observarse y contarse. Desde 1967, un segundo es el tiempo que tardan en producirse algo más de nueve mil millones de estas vibraciones, una cuenta exacta y fija. Los relojes contruidos así, llamados relojes atómicos, marcan el tiempo con un error menor que una millonésima de segundo en todo un año; uno de ellos, visto desde arriba, es una torre de casi diez metros de alto. El reloj de su teléfono se ajusta con regularidad desde redes que dependen del tiempo atómico, y por eso coincide con el de todos los demás al segundo.



Del día al cesio

¿Por qué tanto alboroto por una unidad? Porque toda medición en física se expresa al final en términos de las unidades fundamentales, y ninguna medición puede ser más exacta que las unidades en que se apoya. Un segundo inestable haría inestable cada cronometraje, y un metro inestable, cada distancia.

Para recordar

Un número sin una unidad acordada no dice nada. Casi todo en física puede construirse con cuatro magnitudes básicas: longitud, masa, tiempo y corriente eléctrica, medidas en metros, kilogramos, segundos y amperios. Cualquier otra unidad, como una unidad de velocidad, es una unidad derivada hecha a partir de ellas. Casi todo el mundo y toda la ciencia usan el sistema métrico, el SI. Ahora el segundo se define contando las vibraciones regulares de los átomos de cesio en relojes atómicos, porque el propio día se va alargando poco a poco.

Preguntas

1. ¿Por qué la velocidad media se llama magnitud derivada y no fundamental?
 - a. Porque se calcula a partir de dos mediciones, una distancia y un tiempo
 - b. Porque solo puede medirse con un velocímetro
 - c. Porque se inventó después del metro
 - d. Porque no tiene ninguna unidad
2. ¿Por qué el segundo se ligó a los átomos de cesio en lugar de a la duración del día?
 - a. Porque el cesio es más fácil de comprar que un calendario
 - b. Porque los días solo tienen distinta duración en verano y en invierno

- c. Porque el giro de la Tierra se va frenando despacio, así que el día se alarga poco a poco
 - d. Porque el día era demasiado corto para dividirlo
3. ¿Por qué importa tanto que las unidades fundamentales sean muy exactas?
- a. Porque las unidades derivadas no dependen de ellas
 - b. Porque toda medición se expresa al final a través de ellas y no puede ser más exacta que ellas
 - c. Porque solo las usan los científicos
 - d. Porque cambian cada año
4. ¿Cuál de estas es una de las cuatro magnitudes fundamentales?
- a. La velocidad
 - b. La fuerza
 - c. La carga eléctrica
 - d. La masa

Respuestas

1. **a)** La velocidad media se define por cómo calcularla, distancia recorrida dividida entre el tiempo empleado, así que su unidad se construye con longitud y tiempo.
2. **c)** Una unidad ligada a un día que se alarga cambiaría sin notarse; las vibraciones del cesio se mantienen perfectamente regulares.
3. **b)** Todas las mediciones descansan en las unidades fundamentales, así que una unidad inestable haría inestable todo lo construido sobre ella.
4. **d)** Las cuatro magnitudes fundamentales son longitud, masa, tiempo y corriente eléctrica; velocidad, fuerza y carga se construyen a partir de ellas.

Ejercicios

1. Un poste indicador dice solo «Estación 3». Explique por qué esto no es una medición útil y qué la haría útil.

Pista: Pregúntese qué está contando el número.

Respuesta: Un número sin unidad no dice nada: 3 podrían ser metros, kilómetros o millas. Añadir una unidad acordada, como «3 kilómetros», lo convierte en una medición que cualquiera puede entender y comparar.

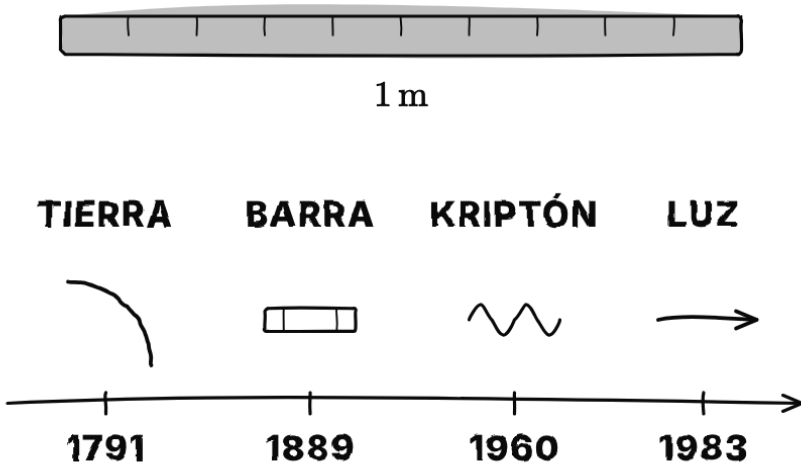
2. Clasifique en unidades fundamentales o derivadas, y explique cada una: el segundo, una unidad de velocidad como los kilómetros por hora, el kilogramo, el metro.

Pista: Una unidad fundamental se define por cómo se mide; una derivada se construye a partir de otras.

Respuesta: El segundo, el kilogramo y el metro son fundamentales: cada uno se define por cómo se mide. Los kilómetros por hora son una unidad derivada: una longitud dividida entre un tiempo.

Un metro de luz, un kilogramo de constantes

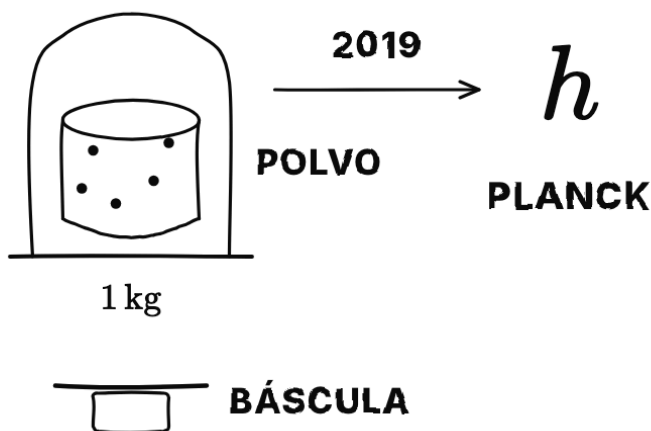
Tome una cinta métrica y saque exactamente un metro. ¿Cómo sabe que la fábrica imprimió las marcas en el lugar correcto? Porque su cinta se comprobó con otra mejor, que a su vez se comprobó con otra mejor aún, subiendo por toda una cadena. En lo más alto de esa cadena tiene que haber algo que defina qué es un metro. La historia de lo que está en lo más alto es la historia de esta parte.



Cuatro metros a lo largo de la historia

El primer metro, en 1791, fue un trozo de la propia Tierra: una diezmillonésima de la distancia del ecuador al Polo Norte. En 1889 se convirtió en algo que se podía sostener: la distancia entre dos rayas finas grabadas en una barra de platino e iridio, guardada cerca de París. Hacia 1960 los científicos podían hacerlo mejor, y el metro se redefinió como un número fijo de longitudes de onda de la luz anaranjada que emiten los átomos de criptón, algo más de un millón y medio. Desde 1983 el metro se define por la propia luz: es la distancia que la luz recorre en el vacío en una fracción de segundo diminuta y exacta, una parte entre casi trescientos millones. Esa elección fija la velocidad de la luz como un número exacto de metros por segundo. Cada paso hizo el metro más exacto y más preciso, y lo alejó de objetos que pueden desgastarse, doblarse o perderse.

El kilogramo siguió un camino parecido, solo que más tarde. Durante más de un siglo fue un pequeño cilindro de platino e iridio, guardado junto a la antigua barra del metro en la oficina internacional de pesas y medidas cerca de París. Se guardaban copias exactas en otros lugares, por ejemplo en el instituto nacional de normas a las afueras de Washington, y toda masa de la Tierra podía, al final, remontarse a una comparación con ese cilindro. El kilogramo impreso en una bolsa de harina o mostrado por su báscula de cocina era, en último término, una promesa de que coincidía con ese único trozo de metal. El cilindro no se oxidaba, pero diminutas motas de suciedad del aire seguían pegándose a su superficie y cambiaban muy despacio su masa. Un patrón que deriva es un mal patrón, así que en mayo de 2019 los científicos adoptaron una definición más estable: el kilogramo se define ahora mediante el segundo, el metro y la constante de Planck, un número fijo de la física cuántica que relaciona la energía de la luz con su frecuencia.



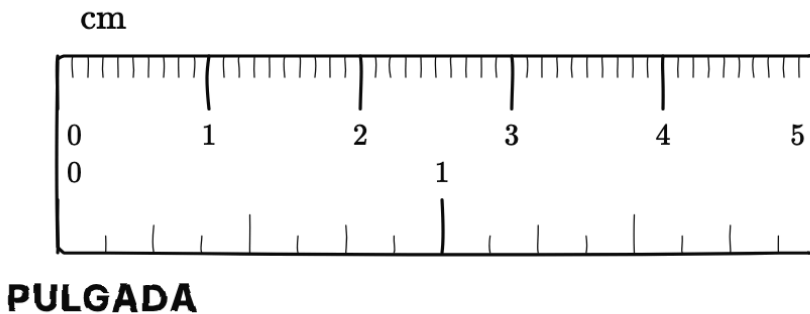
El kilogramo deja su cilindro

La cuarta unidad fundamental, el amperio para la corriente eléctrica, esperará a los capítulos sobre electricidad. Los primeros capítulos, sobre movimiento, fluidos, calor y ondas, no necesitan más que longitud, masa y tiempo.

Detrás de todos estos cambios hay un deseo que comparten los físicos. Como todo está hecho de partes diminutas, lo más satisfactorio sería basar cada patrón en esas partes diminutas y en rasgos fijos de la naturaleza, como la velocidad de la luz, y no en objetos guardados en una cámara. El tiempo ya descansa en las vibraciones de los átomos de cesio, y la longitud, antes ligada a la luz de los átomos de criptón, descansa ahora en la velocidad de la luz. El libro menciona que algún día la masa también podría ligarse a los átomos, por ejemplo

midiendo una esfera de átomos de silicio extremadamente perfecta, y que la carga eléctrica podría algún día basarse en la carga de electrones y protones individuales.

Ahora, la segunda gran idea de esta parte: el sistema métrico cuenta de diez en diez. Hay cien centímetros en un metro y mil metros en un kilómetro, así que cambiar de unidad significa solo mover la coma decimal. El antiguo sistema estadounidense es mucho menos ordenado, con doce pulgadas en un pie y cinco mil doscientos ochenta pies en una milla.

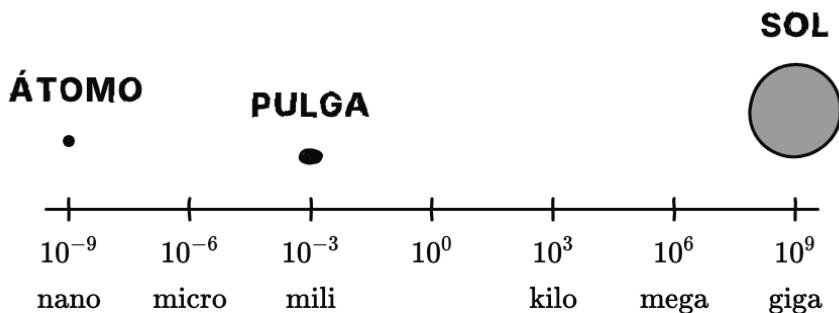


Decenas contra docenas

Pruébalo

Mire una regla marcada en centímetros y en pulgadas. En el lado métrico, cada décima marca pequeña es una marca mayor, así que se leen milímetros, centímetros y metros de un vistazo. En el lado de las pulgadas, la pulgada se divide en mitades, cuartos, octavos y dieciseisavos, y pasar de pulgadas a pies o millas exige verdadera aritmética.

La segunda ventaja es que una sola unidad puede abarcar cualquier tamaño, con solo poner delante una palabra corta llamada prefijo. Kilo significa mil veces, centi una centésima, mili una milésima, micro una millonésima, nano una milmillonésima; en el extremo grande están mega, giga y tera, para un millón, mil millones y un billón. La tabla del libro acompaña cada prefijo con una imagen: un milímetro es más o menos la altura de una pulga hasta los hombros, un centímetro el grosor de la yema de un dedo, un kilómetro unas seis décimas de milla, un nanogramo una motita de polvo, un femtómetro el tamaño de un protón. Así, los albañiles trabajan en metros, los pilotos en kilómetros y los diseñadores de lentes en nanómetros, y nadie tiene que inventar una unidad nueva para su oficio. El almacenamiento de su teléfono contado en gigabytes y una dosis de medicamento en miligramos son el mismo truco: una unidad estirada por un prefijo.



Prefijos a lo largo de las potencias de diez

Pensar de diez en diez da también un sentido rápido de la escala, llamado orden de magnitud: el tamaño aproximado de un número. Ochocientos y cuatrocientos cincuenta son distintos, pero ambos son «centenas», así que comparten orden de magnitud. Un átomo mide de ancho una diezmilmillonésima de metro, y el Sol unos mil millones de metros; esa diferencia de orden de magnitud dice de inmediato lo lejos que están esos mundos.

Para recordar

El metro empezó como un trozo de la Tierra, luego fue una barra de metal, luego una cuenta de ondas de luz, y ahora es la distancia que la luz recorre en una fracción de segundo diminuta y exacta. El kilogramo fue un cilindro de metal cerca de París hasta 2019; ahora se define mediante el segundo, el metro y la constante de Planck. Los físicos quieren que cada patrón descanse en las partes más pequeñas de la naturaleza y en constantes que no cambian. El sistema métrico cuenta de diez en diez, y un prefijo como kilo, mili o nano estira una unidad a cualquier tamaño. El orden de magnitud es una idea rápida y aproximada de lo grande que es algo.

Preguntas

1. ¿Por qué se sustituyó en 2019 el antiguo kilogramo de metal?
 - a. Porque se oxidó mucho
 - b. Porque diminutas motas de suciedad del aire se le pegaban y cambiaban despacio su masa
 - c. Porque era demasiado pequeño para verlo
 - d. Porque lo trasladaron de París a Washington
2. ¿En qué se basa hoy el metro?
 - a. En la distancia del ecuador al Polo Norte
 - b. En dos rayas de una barra de metal cerca de París

- c. En la distancia que la luz recorre en el vacío en una fracción de segundo diminuta y exacta
 - d. En el tamaño de un átomo de criptón
3. ¿Por qué es tan fácil cambiar de una unidad métrica a otra?
- a. Porque las unidades métricas avanzan en factores de diez, así que solo se mueve la coma decimal
 - b. Porque las unidades métricas nunca necesitan conversión
 - c. Porque solo hay una unidad métrica
 - d. Porque los números métricos siempre son redondos
4. ¿Por qué querrían los físicos que todo patrón descansara en átomos y constantes de la naturaleza?
- a. Porque los átomos son más baratos que las barras de metal
 - b. Porque los objetos guardados en una cámara son más fáciles de medir
 - c. Porque las constantes de la naturaleza cambian despacio con el tiempo
 - d. Porque las partes más pequeñas de la naturaleza y las constantes fijas no se desgastan, no derivan ni se pierden

Respuestas

1. **b)** Un patrón que deriva es un mal patrón, así que el kilogramo se redefinió mediante constantes fijas.
2. **c)** Desde 1983 el metro se define por la luz, lo que también fija exactamente la velocidad de la luz.
3. **a)** Cien centímetros forman un metro y mil metros un kilómetro, a diferencia de las doce pulgadas de un pie.

4. d) Basar los patrones en partes diminutas y en rasgos fijos como la velocidad de la luz evita la deriva de los objetos físicos.

Ejercicios

1. Usando los prefijos, diga cuántos miligramos hay en un gramo y cuántos metros en un kilómetro, y explique por qué el sistema métrico hace fáciles estas preguntas.

Pista: Mili significa una milésima y kilo, mil veces.

Respuesta: Hay mil miligramos en un gramo y mil metros en un kilómetro. Como cada prefijo es una potencia de diez, convertir solo significa mover la coma decimal, a diferencia de pulgadas, pies y millas.

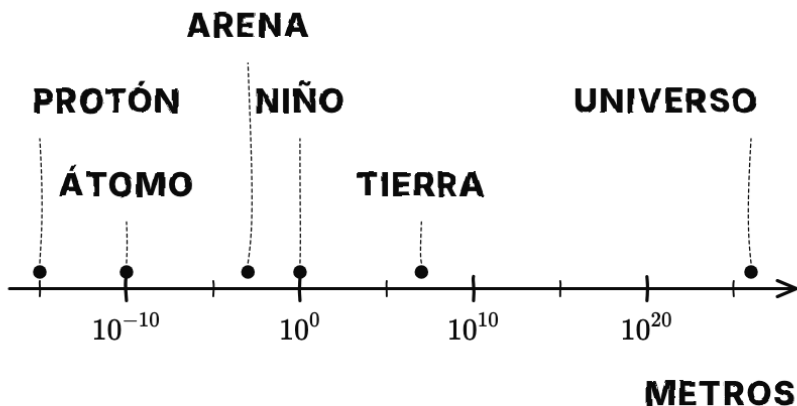
2. Ordene de menor a mayor por orden de magnitud, usando los ejemplos del libro: un centímetro, un femtómetro, un kilómetro, un milímetro.

Pista: Femto es aquí el prefijo más pequeño y kilo el más grande.

Respuesta: Femtómetro (más o menos el tamaño de un protón), milímetro (una pulga hasta los hombros), centímetro (el grosor de la yema de un dedo), kilómetro (unas seis décimas de milla).

De un protón al borde del universo

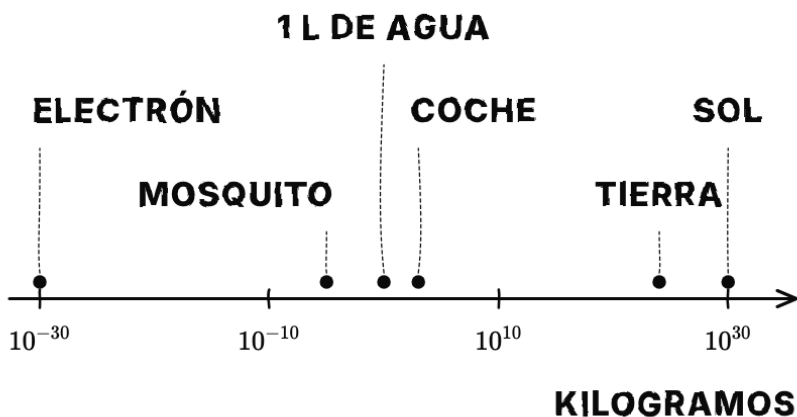
Tome un solo grano de arena y sosténgalo en la yema del dedo. Mide alrededor de un milímetro de ancho, una milésima de metro. Ahora intente imaginar algo un billón de veces más pequeño: ese es más o menos el tamaño de un protón, el núcleo de un átomo de hidrógeno. Y ahora algo tan grande que la luz, lo más rápido que existe, necesita miles de millones de años para cruzarlo: el universo conocido. La física habla de todo esto, y la primera tarea del libro en esta parte es simplemente dejar que ese abanico se asiente en la mente.



Una escalera de longitudes

Lo hace con una larga tabla de longitudes, masas y tiempos conocidos, cada uno dado solo de forma aproximada, como orden de magnitud. Lea las longitudes de arriba abajo y estará subiendo por una escalera. Abajo está el detalle más pequeño que hoy puede distinguir cualquier experimento, luego un protón, el núcleo de un átomo de uranio, un átomo de hidrógeno, la fina piel que rodea una célula viva y la longitud de onda de la luz visible. Luego vienen cosas que se pueden ver: un grano de arena, un niño de cuatro años de alrededor de un metro, un campo de fútbol de unos cien metros de largo y el punto más profundo del océano, a unos diez kilómetros bajo la superficie. Luego la propia Tierra, la distancia al Sol, la distancia que recorre la luz en un año, el ancho de nuestra galaxia, la distancia a la gran galaxia más cercana, Andrómeda, y por último los bordes del universo conocido.

Las masas suben de la misma manera. Abajo está el electrón, luego un átomo de hidrógeno, una bacteria, un mosquito y un colibrí. En medio, un litro de agua pesa alrededor de un kilogramo, una persona unos cien kilogramos, un coche unos mil. La botella de un litro de agua de su nevera es una pesa práctica de un kilogramo, el mismo peldaño de la escalera que usa el libro. Por encima vienen un barco grande, un gran iceberg, el núcleo de un cometa, la Luna, la Tierra, el Sol, toda nuestra galaxia y, en lo más alto, toda la materia conocida del universo.



Una escalera de masas

Y los tiempos: el instante que tarda la luz en cruzar un protón; la vida de un núcleo extremadamente inestable; una oscilación de una onda de luz; una vibración de un átomo en un sólido; una oscilación de una onda de radio FM. Luego los tiempos a escala humana: un impulso nervioso que dura alrededor de una milésima de segundo, un latido de alrededor de un segundo, un día, un año. Luego los largos: media vida humana, toda la historia escrita, la edad de la Tierra y la edad del universo. Dos fotografías enmarcan la tabla: diminuto plancton a la deriva entre cristales de hielo en el mar antártico, de unas milésimas de milímetro a dos milímetros de largo, y dos galaxias que chocan entre sí a más de dos mil millones de años luz. El abanico de la naturaleza, dice el libro, desafía la imaginación.

Con tantos tamaños y tantas unidades en uso, necesitamos pasar una y otra vez de una unidad a otra. Una receta europea pide la leche en litros y su jarra medidora muestra tazas; unas indicaciones a pie dan una distancia en pies y usted quiere saber cuántas millas son. La herramienta para esto es el factor de conversión: una razón que dice cuántas unidades de un tipo forman una del otro. Hay doce pulgadas en un pie, cien centímetros en un metro, sesenta segundos en un minuto, mil metros en un kilómetro.

$$\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}}$$

FACTOR

1. TENGO Y QUIERO

2. HALLAR EL FACTOR

3. MULTIPLICAR, CANCELAR

$$80 \cancel{\text{ m}} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \cancel{\text{ m}}} = 0.080 \text{ km}$$

Un factor de conversión cancela unidades

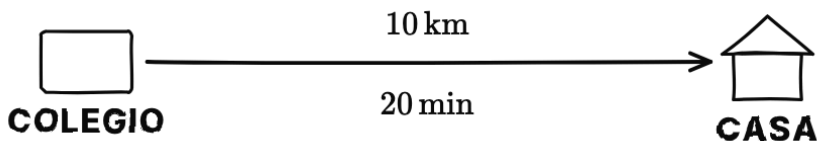
El método tiene tres pasos. Primero, anote qué unidad tiene y cuál quiere. Segundo, busque el factor de conversión que las une. Tercero, multiplique lo que tiene por ese factor, colocado de modo que la unidad que no quiere se cancele y quede la que quiere. El primer

ejemplo del libro convierte ochenta metros en kilómetros: como mil metros forman un kilómetro, los metros se cancelan y queda ocho centésimas de kilómetro. La misma receta sirve para cualquier tipo de unidad.

Pruébalo

Tome una jarra medidora de cocina con litros y tazas impresos. Llénela hasta la marca de un litro y lea las tazas, unas cuatro. Esa lectura es su propio factor de conversión entre las dos unidades, y podría usarlo para reescribir cualquier receta.

Luego el libro resuelve un viaje real. Conduce diez kilómetros del colegio a casa, y tarda veinte minutos. ¿A qué velocidad media iba, primero en kilómetros por hora y luego en metros por segundo? La velocidad media es simplemente la distancia dividida entre el tiempo, lo que da medio kilómetro por minuto. Para pasar de minutos a horas se usa que una hora tiene sesenta minutos, y la respuesta sale treinta kilómetros por hora. Es una velocidad típica de ciudad en el velocímetro de su coche, lo que ya indica que la respuesta es sensata.



$$\frac{10 \text{ km}}{20 \text{ min}} = 0.500 \text{ km/min}$$

$$\times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 30.0 \text{ km/h}$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$



Diez kilómetros en veinte minutos

El libro insiste en comprobar estas respuestas, y a eso lo llama análisis dimensional: dejar que las propias unidades vigilen el cálculo. Si pone el factor de conversión al revés, las unidades no se cancelan; en su lugar obtiene una mezcla rara, algo como kilómetro-horas por minuto al cuadrado, que claramente no es una velocidad. Así que comprueba tres cosas: que las unidades se cancelaron bien, que la respuesta está en las unidades que le pidieron y que tiene sentido. Aquí lo tiene: diez kilómetros en un tercio de hora significan treinta kilómetros en una hora entera. El libro también señala que la respuesta se escribió con exactamente tres cifras, como la distancia y el tiempo, y que los sesenta minutos de una hora no limitan esto en absoluto, porque una hora se define como exactamente sesenta minutos.

Para la segunda mitad de la pregunta, en metros por segundo, hacen falta dos factores de conversión a la vez. Uno cambia horas por segundos, ya que una hora tiene tres mil seiscientos segundos, y el otro cambia kilómetros por metros. Colocarlos de modo que se cancelen las dos unidades que sobran es el paso siguiente, y ahí empieza la parte siguiente.

Para recordar

La física se extiende desde el tamaño de un protón hasta los bordes del universo conocido, desde la masa de un electrón hasta la masa de toda la materia conocida, y desde el tiempo que tarda la luz en cruzar un protón hasta la edad del universo. Un factor de conversión es una razón que dice cuántas unidades de un tipo forman otra, como mil metros en un kilómetro. Para convertir, multiplique por el factor colocado de modo que la unidad que sobra se cancele y quede la buscada. El análisis dimensional consiste en dejar que las unidades comprueben el trabajo: si no se cancelan hasta dar las unidades buscadas, algo está al revés. Diez kilómetros en veinte minutos son treinta kilómetros por hora, una velocidad sensata en ciudad.

Preguntas

1. Al convertir unidades, ¿cómo debe colocarse el factor de conversión?

- a. De modo que la unidad que no quiere se cancele y quede la que quiere
 - b. De modo que el número mayor quede siempre arriba
 - c. De modo que ambas unidades queden en la respuesta
 - d. Da igual cómo se coloque
2. ¿Qué significaría que un cálculo de velocidad terminara en unidades de kilómetro-horas por minuto al cuadrado?
- a. Que el coche iba muy deprisa
 - b. Que la respuesta debe estar en millas
 - c. Que el factor de conversión se puso al revés
 - d. Que las unidades son correctas pero poco comunes
3. ¿Por qué los sesenta minutos de una hora no limitan cuántas cifras puede tener la respuesta de velocidad?
- a. Porque sesenta es un número redondo
 - b. Porque una hora se define como exactamente sesenta minutos, así que el factor es perfectamente exacto
 - c. Porque los factores de conversión nunca se usan en los cálculos
 - d. Porque los minutos no son unidades reales
4. ¿Por qué treinta kilómetros por hora es una respuesta sensata para diez kilómetros en veinte minutos?
- a. Porque el velocímetro siempre marca treinta en ciudad
 - b. Porque treinta es tres veces veinte
 - c. Porque diez más veinte son treinta
 - d. Porque veinte minutos son un tercio de hora, así que en una hora entera recorrería el triple

Respuestas

1. **a)** Se multiplica por el factor colocado de modo que la unidad que sobra se cancele y quede la buscada.
2. **c)** Un factor al revés impide que las unidades se cancelen y deja una mezcla que claramente no es una velocidad.
3. **b)** Una hora se define como sesenta minutos, así que el factor de conversión no tiene incertidumbre.
4. **d)** Diez kilómetros en un tercio de hora significan treinta kilómetros en una hora completa.

Ejemplos resueltos

Ochenta metros en kilómetros Convierta 80 metros en kilómetros.

Anote la unidad que tiene, metros, y la que quiere, kilómetros.

Busque el factor de conversión: 1000 metros forman 1 kilómetro.

Multiplique 80 metros por 1 kilómetro entre 1000 metros, para que los metros se cancelen.

80 dividido entre 1000 es 0,080.

Respuesta: 0,080 km

Ejercicios

1. Conduce los 10,0 km del colegio a casa en 20,0 min. ¿Cuál es su velocidad media en kilómetros por hora?

Pista: Primero divida la distancia entre el tiempo para obtener kilómetros por minuto, y luego use que una hora tiene 60 minutos.

Respuesta: 30,0 km/h: 10,0 km entre 20,0 min son 0,500 km por minuto, y $0,500 \times 60 = 30,0$ km/h.

2. Con la tabla del libro, ordene del tiempo más corto al más largo: un latido, la duración de un impulso nervioso, un día, la edad de la Tierra.

Pista: Un impulso nervioso dura alrededor de una milésima de segundo, un latido alrededor de un segundo.

Respuesta: Impulso nervioso (alrededor de una milésima de segundo), latido (alrededor de un segundo), un día, la edad de la Tierra.

Cerca de la verdad, o cerca unas de otras

Dejamos a medias nuestro viaje a casa: diez kilómetros en veinte minutos, treinta kilómetros por hora, y ahora la misma velocidad en metros por segundo. Dos cambios terminan el trabajo. Una hora son tres mil seiscientos segundos, así que las horas dejan paso a los segundos; un kilómetro son mil metros, así que los kilómetros dejan paso a los metros. Una vez canceladas las dos unidades que sobran, la respuesta es de unos ocho metros y un tercio cada segundo. Imagínelo como más o menos el largo de un coche recorrido cada medio segundo, un ritmo tranquilo por la ciudad. El libro añade que podría haber empezado por medio kilómetro por minuto; necesitaría otros factores de conversión, pero llegaría exactamente a los mismos ocho y un tercio.

30.0 km/h

$$30.0 \frac{\cancel{\text{km}}}{\cancel{\text{h}}} \times \frac{1 \cancel{\text{h}}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \cancel{\text{km}}} = 8.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



un coche por cada $\frac{1}{2}$ s

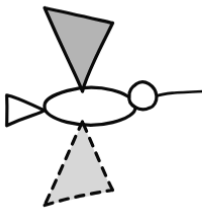
8.333333

8.33

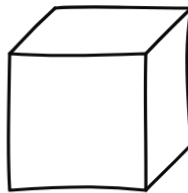
30 km/h en metros por segundo

Luego plantea una pregunta aguda. ¿Por qué todas estas respuestas se escribieron con solo tres cifras, treinta coma cero y ocho coma treinta y tres? Una calculadora mostraría encantada ocho coma tres tres tres tres tres y más. ¿Por qué no escribirlas todas? El libro promete la respuesta en las páginas siguientes, y tiene que ver con lo buenas que eran las mediciones desde el principio.

Antes, unas notas al margen. No todas las unidades son tan ordenadas como el metro. Hay unidades antiguas curiosas, como el firkin, que se usaba para la cerveza y contiene unos treinta y cuatro litros, o el grano de cebada, una medida de longitud. El libro le invita a buscar unidades así y averiguar cómo se relaciona cada una con el SI.



$\approx 20 \text{ ms}$



1 cm

1 cm

$$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$$



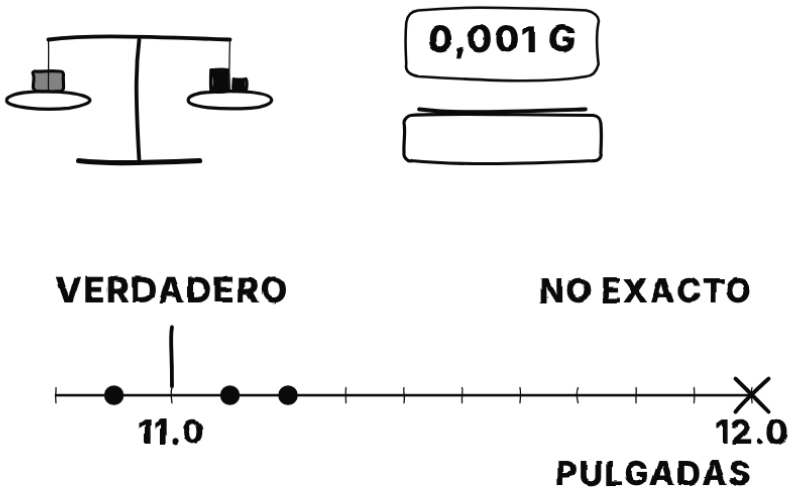
Un cubo de un mililitro

He aquí un acertijo que plantea el libro. Algunos colibríes batan las alas más de cincuenta veces por segundo. Si un científico quiere cronometrar un solo aleteo, ¿qué unidad debería usar? La unidad fundamental sigue siendo el segundo, pero un aleteo dura solo una pequeñísima porción de segundo, unas veinte milésimas. Así que la elección natural es el milisegundo, una milésima de segundo, y el aleteo dura unos veinte milisegundos.

Y otro: un centímetro cúbico, un cubito de un centímetro de lado, contiene exactamente un mililitro. Eso muestra lo bien que encaja el SI. La unidad de volumen no se inventa por separado; se construye directamente a partir de la unidad de longitud. El vasito de plástico

que viene con el jarabe infantil, marcado en mililitros, en realidad está marcado en cubitos de un centímetro cada uno.

Ahora el libro pasa al corazón de la medición: ¿qué tan buena es una medición? Empieza con una antigua balanza de dos platillos. Se pone el objeto en un platillo y pesas metálicas estándar, un gramo, diez gramos, cien gramos, en el otro, y cuando la barra entre ellos queda nivelada, los dos lados pesan lo mismo. Muchas de esas balanzas se han sustituido por básculas digitales, que son más precisas: una balanza antigua puede leer solo hasta la décima de gramo más cercana, una buena báscula digital hasta la milésima. Su báscula de cocina está en algún punto intermedio, y suele leer hasta el gramo más cercano.



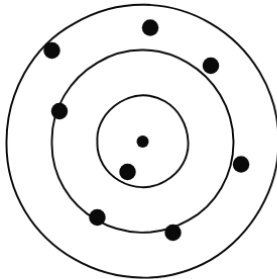
Tres lecturas de 11 pulgadas

Toda la ciencia descansa en mediciones, y para juzgarlas el libro usa dos palabras que suenan parecido pero significan cosas distintas. La primera es la exactitud: cuánto se acerca una medición al valor verdadero. Digamos que un paquete de papel de impresora indica que cada hoja mide once pulgadas de largo. Mide una hoja tres veces y obtiene once coma uno, once coma dos y diez coma nueve. Son exactas, porque todas quedan cerca de las once pulgadas verdaderas; una lectura de doce no lo sería.

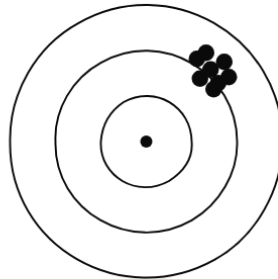
Pruébalo

Tome una regla y mida tres veces el lado largo de una hoja de papel, levantando la regla entre intento e intento. Probablemente no obtendrá exactamente el mismo número cada vez, ni exactamente lo que dice el paquete. Cuánto se acercan sus lecturas al tamaño indicado es su exactitud; cuánto se acercan entre sí es la idea siguiente.

La segunda palabra es la precisión: cuánto coinciden entre sí las mediciones repetidas, hechas de la misma manera. Sus tres lecturas van de diez coma nueve a once coma dos, una dispersión de solo tres décimas de pulgada, así que son bastante precisas. Si hubiera leído diez coma nueve, once coma uno y once coma nueve, la dispersión sería mucho mayor, y las mediciones no serían precisas.



EXACTO



PRECISO

Exacto o preciso

Las lecturas del papel resultan ser exactas y precisas, pero las dos cosas pueden separarse. El libro dibuja un GPS que intenta localizar un restaurante en el centro de una diana, con cada intento como un punto negro. En la primera imagen los puntos están muy dispersos, lejos unos de otros, pero agrupados alrededor del centro: poca precisión, pero mucha exactitud. En la segunda los puntos se apiñan muy juntos, pero muy hacia un lado, lejos del restaurante: mucha precisión, pero poca exactitud. Ese segundo caso es como un mapa del teléfono que siempre le sitúa, muy constante, en la acera de enfrente. Ser constante no es lo mismo que acertar, y acertar en promedio no es lo mismo que ser constante.

Para recordar

Diez kilómetros en veinte minutos son unos ocho metros y un tercio por segundo, convierta como convierta. Un solo aleteo de colibrí se cronometra mejor en milisegundos, y un centímetro cúbico es exactamente un mililitro. La exactitud es cuánto se acerca una medición al valor verdadero. La precisión es cuánto coinciden entre sí las mediciones repetidas. Una medición puede ser exacta sin ser precisa, o precisa sin ser exacta, como puntos dispersos alrededor de una diana o apiñados a un lado.

Preguntas

1. Un GPS da posiciones muy dispersas pero agrupadas alrededor del punto verdadero. ¿Qué es cierto de él?
 - a. Es preciso pero no exacto
 - b. Es exacto pero no preciso
 - c. Es exacto y preciso
 - d. No es ni exacto ni preciso
2. ¿Por qué un solo aleteo de colibrí se describe mejor en milisegundos?
 - a. Porque un aleteo dura solo unas veinte milésimas de segundo
 - b. Porque el segundo no es una unidad fundamental
 - c. Porque los colibríes aletean una vez por minuto
 - d. Porque los milisegundos son mayores que los segundos

3. ¿Qué le indica que un centímetro cúbico sea exactamente un mililitro?
- a. Que el volumen es una magnitud fundamental
 - b. Que centímetros y mililitros son la misma clase de magnitud
 - c. Que el litro se inventó antes que el metro
 - d. Que el SI construye su unidad de volumen directamente a partir de su unidad de longitud
4. Sus tres lecturas del papel, 11,1, 11,2 y 10,9 pulgadas, se llaman precisas. ¿Por qué?
- a. Porque una de ellas es exactamente once pulgadas
 - b. Porque se midieron con una báscula digital
 - c. Porque se dispersan solo en tres décimas de pulgada
 - d. Porque todas son mayores que diez

Respuestas

1. **b)** Los puntos están lejos unos de otros, así que la precisión es baja, pero se centran en el restaurante, así que la exactitud es alta.
2. **a)** Cincuenta aleteos por segundo dejan unos veinte milisegundos para cada uno, así que el milisegundo se ajusta al tamaño de la medición.
3. **d)** El mililitro depende del centímetro, así que la unidad de volumen se deriva de la longitud.
4. **c)** La precisión es cuánto coinciden las lecturas repetidas, y estas difieren como mucho en tres décimas de pulgada.

Ejemplos resueltos

El viaje a casa en metros por segundo Su velocidad media fue de 30,0 km/h. Exprésela en metros por segundo.

Hay que cambiar dos unidades: horas por segundos y kilómetros por metros.

Una hora son 3600 segundos, así que se divide entre 3600 para que las horas se cancelen.

Un kilómetro son 1000 metros, así que se multiplica por 1000 para que los kilómetros se cancelen.

$$30,0 \times 1000 \div 3600 = 8,33.$$

Respuesta: 8,33 m/s

Ejercicios

1. Algunos colibríes baten las alas 50 veces por segundo. ¿Cuánto dura un aleteo, en segundos y en milisegundos?

Pista: Divida un segundo en 50 partes iguales.

Respuesta: Una cincuentava parte de segundo, es decir, 0,02 s, o 20 milisegundos.

2. Medida tres veces, una hoja de papel que debería medir 11,0 pulgadas da 10,9, 11,1 y 11,9 pulgadas. ¿Son estas mediciones exactas, precisas, ambas cosas o ninguna? Explíquelo.

Pista: Mire primero cuánto se separan las lecturas entre sí, y luego cuánto se acercan a 11,0.

Respuesta: No son precisas, porque se dispersan en una pulgada entera, de 10,9 a 11,9. Dos lecturas están cerca de 11,0, pero 11,9 se aleja bastante, así que en conjunto tampoco son muy exactas; el libro usa este conjunto como ejemplo de mediciones que no son precisas.

Más o menos

Alguien le pregunta cuánto ha recorrido su coche, usted echa un vistazo al tablero y dice: unas cuarenta y cinco mil millas, quinientas más o menos. Ese pequeño «más o menos» es honesto y útil. Dice que el número verdadero podría ser tan bajo como cuarenta y cuatro mil quinientas o tan alto como cuarenta y cinco mil quinientas, o cualquier cosa intermedia. El libro le da un nombre a ese más o menos: la incertidumbre, una especie de advertencia que acompaña a todo valor medido.

$45\,000 \pm 500$ millas



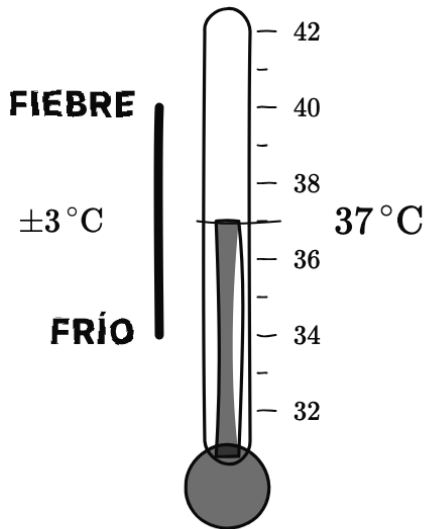
APARATO	PERSONA	OBJETO	SITUACIÓN
---------	---------	--------	-----------

De dónde viene la duda

La incertidumbre es un número que dice cuánto puede apartarse su medición del valor verdadero o esperado. Está ligada a la exactitud y la precisión que acabamos de ver: si sus mediciones no son muy exactas o no muy precisas, la incertidumbre es grande. Y toda medición tiene alguna. La hoja de papel de impresora de antes podría anotarse honestamente como once pulgadas, dos décimas de pulgada más o menos.

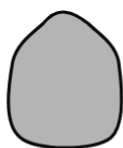
¿De dónde viene la incertidumbre? El libro nombra cuatro fuentes. El instrumento de medida tiene límites: si la marca más pequeña de la regla es una décima de pulgada, no se puede leer mucho más fino que eso. La persona que mide también tiene límites, quizá mala vista o un pulso inseguro. Lo que se mide puede ser irregular, como una hoja de papel con un lado algo más largo que el otro. Y puede haber otras influencias, según la situación. Una incertidumbre bien fundada sale de pensar con cuidado en todas ellas.

¿Por qué importa tanto esto? La respuesta del libro es un niño enfermo. Sospecha que tiene fiebre y coge un termómetro, pero imagine que pudiera equivocarse tres grados Celsius hacia cualquier lado. Marca treinta y siete, una temperatura normal, y sin embargo la verdad podría ser cualquier cosa entre unos peligrosamente fríos treinta y cuatro y una fiebre peligrosa de cuarenta. Un termómetro así sería inútil. Por eso un termómetro médico tiene que ser mucho más fiable: unos pocos grados de duda ocultarían justo la diferencia que usted necesita ver.



Un termómetro que falla tres grados

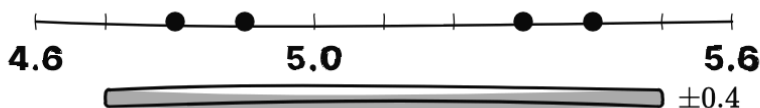
Hay una forma práctica de juzgar lo grande que es en realidad una incertidumbre: compararla con la propia medición, como porcentaje. Esto se llama incertidumbre porcentual: cuántas centésimas del valor medido supone el más o menos. El libro lo muestra con una bolsa de manzanas. Una tienda vende bolsas marcadas de cinco libras, y en un mes usted compra cuatro y las pesa: cuatro coma ocho, cinco coma tres, cuatro coma nueve y cinco coma cuatro libras. Su promedio es cinco coma una libras, y por pesadas anteriores sabe que el peso de la bolsa tiene una incertidumbre de unas cuatro décimas de libra.



5 lb

PROMEDIO 5,1

|



$$\frac{0.4}{5.1} \approx 8\%$$

Cinco libras, más o menos

Pruébalo

Pese varias veces el mismo paquete de pasta o de arroz en su báscula de cocina, quitándolo y volviéndolo a poner cada vez. Compare las lecturas con el peso impreso en el paquete. La dispersión de sus lecturas, y lo lejos que quedan de la etiqueta, le darán una idea del más o menos de su propia báscula.

Cuatro décimas de libra de unas cinco es aproximadamente un ocho por ciento. Así que la bolsa pesa cinco libras, ocho por ciento más o menos, y el promedio que midió queda cómodamente dentro de ese margen alrededor de la etiqueta. La tienda no le engaña; las

variaciones de una semana a otra están dentro del más o menos honesto. El libro añade una pregunta para pensar: si la bolsa pesara solo la mitad pero tuviera el mismo más o menos, la incertidumbre sería una parte mucho mayor de ella, el doble en porcentaje. Y una advertencia práctica: una incertidumbre porcentual es una fracción convertida en centésimas, así que recuerde convertirla en porcentaje en lugar de dejarla como un decimal pequeño.

Para recordar

La incertidumbre es el más o menos de una medición, cuánto puede alejarse del valor verdadero, y toda medición tiene alguna. Viene de los límites del instrumento, la habilidad de la persona, la irregularidad del objeto y las circunstancias. Una medición con demasiada incertidumbre, como un termómetro que puede equivocarse tres grados, es inútil. La incertidumbre porcentual compara el más o menos con el propio valor medido. Una bolsa de manzanas de cinco libras conocida con unas cuatro décimas de libra de margen pesa cinco libras, ocho por ciento más o menos.

Preguntas

1. Dice que su coche ha recorrido 45 000 millas, 500 más o menos. ¿Qué está afirmando?
 - a. Que el kilometraje verdadero es exactamente 45 000

- b. Que el kilometraje verdadero está en algún punto entre 44 500 y 45 500
 - c. Que el kilometraje verdadero es al menos 45 500
 - d. Que el cuentakilómetros está roto
2. ¿Por qué sería inútil para un niño enfermo un termómetro que puede equivocarse tres grados?
- a. Porque siempre mostraría fiebre
 - b. Porque tres grados es demasiado poco para importar
 - c. Porque una lectura normal podría ocultar cualquier cosa, desde un frío peligroso hasta una fiebre peligrosa
 - d. Porque los termómetros no pueden medir a los niños
3. Si una bolsa pesara la mitad pero tuviera el mismo más o menos, ¿qué le pasaría a su incertidumbre porcentual?
- a. Sería el doble
 - b. Sería la mitad
 - c. No cambiaría
 - d. Desaparecería
4. ¿Cuál de estas es una de las fuentes de incertidumbre que da el libro?
- a. El color del objeto
 - b. La hora del día en que se anota la medición
 - c. La marca de la regla
 - d. La irregularidad del objeto que se mide

Respuestas

1. **b)** El más o menos es la incertidumbre, así que el valor verdadero podría estar en cualquier punto a 500 millas a cada lado.
2. **c)** Una lectura de 37 podría significar en realidad cualquier cosa entre 34 y 40 grados, así que no le dice lo que necesita saber.
3. **a)** El mismo más o menos es una parte mayor de un valor más pequeño, el doble en porcentaje.
4. **d)** El libro enumera los límites del instrumento, la habilidad de la persona, la irregularidad del objeto y otras influencias de la situación.

Ejercicios

1. Una bolsa marcada de 5 libras pesa 4,8, 5,3, 4,9 y 5,4 libras en cuatro semanas, y su peso se conoce con unas cuatro décimas de libra de margen. ¿Es honesta la etiqueta de la bolsa, y qué parte del peso supone más o menos la incertidumbre?

Pista: Halle el promedio y luego compare cuatro décimas de libra con unas cinco libras.

Respuesta: El promedio es 5,1 libras, a menos de cuatro décimas de libra de la etiqueta, así que la etiqueta es honesta. Cuatro décimas de unas cinco es aproximadamente un ocho por ciento.

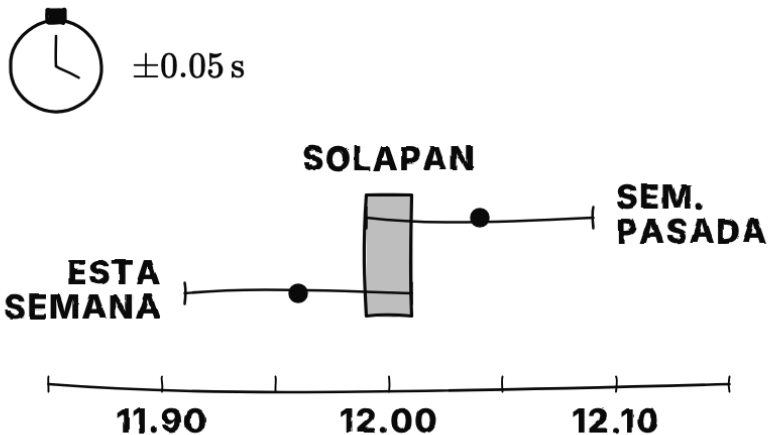
2. Mide una hoja de papel con una regla cuya marca más pequeña es una décima de pulgada. Nombre dos cosas, además de la regla, que podrían aumentar la incertidumbre de su resultado.

Pista: Piense en la persona que mide y en la propia hoja.

Respuesta: Por ejemplo, la mala vista o el pulso inseguro de quien mide, y una hoja cortada un poco torcida, de modo que un lado es más largo que el otro.

Cuántas cifras se ha ganado

Llega un cronómetro nuevo para el equipo de atletismo de un colegio, y el manual dice que puede equivocarse cinco centésimas de segundo hacia cualquier lado. La semana pasada la mejor velocista corrió los cien metros en doce coma cero cuatro segundos; esta semana el cronómetro marca once coma noventa y seis. ¿Se ha vuelto más rápida? Lo parece, pero la respuesta del libro es que no: la diferencia es tan pequeña que el propio más o menos del cronómetro podría explicarla. Con ese cronómetro, sencillamente no se pueden distinguir las dos carreras.



Dos carreras que el cronómetro no separa

Esa es la primera lección de esta parte: todo lo que calcula a partir de mediciones arrastra consigo su duda. Suponga que mide el suelo de una habitación para hallar su área. La longitud es algo incierta y la anchura también, así que el área que calcula a partir de ellas también debe ser incierta. Para multiplicar o dividir mediciones cuyas incertidumbres son pequeñas, de unos pocos por ciento o menos, el libro da una regla práctica: basta con sumar sus incertidumbres porcentuales.



$$4 \text{ m} \pm 2 \%$$

$$3 \text{ m} \pm 1 \%$$

$$2 \% + 1 \% = 3 \%$$

$$A = 12 \text{ m}^2 \pm 3 \%$$

$$\approx \pm 0.4 \text{ m}^2$$

Las incertidumbres porcentuales se suman

Su ejemplo es un suelo de cuatro metros de largo y tres de ancho. La longitud tiene una incertidumbre del dos por ciento y la anchura del uno por ciento. El área sale doce metros cuadrados, y su incertidumbre es el dos y el uno sumados, un tres por ciento. El tres

por ciento de doce metros cuadrados es algo más de un tercio de metro cuadrado, que el libro redondea a unas cuatro décimas de metro cuadrado. Si compra suelo para esa habitación, por eso conviene pedir un poco de más: sus propias mediciones trasladan su más o menos al área.

La segunda lección trata del instrumento. Un instrumento de medida preciso es uno que puede mostrar pasos muy pequeños. Una regla corriente mide hasta el milímetro más cercano, mientras que un calibre, un medidor deslizante de mordazas finas, mide hasta la centésima de milímetro. El calibre es el instrumento más preciso, y cuanto más preciso el instrumento, más precisas y exactas pueden ser sus mediciones.

Pruébalo

Ponga una regla junto a un lápiz y lea su longitud con todo el cuidado que pueda. Verá que el extremo cae entre dos marcas de milímetro, así que tiene que estimar a ojo la última cifra. Esa última cifra, estimada, es justo lo que el libro llama la primera cifra con cierta duda.

Esto lleva a la idea de cifras significativas: escribe solo tantas cifras como su instrumento midió de verdad. Si una regla le dice que un palo mide treinta y seis coma siete centímetros, no puede escribir treinta y seis coma setenta y uno, porque la regla no ve una centésima de centímetro. E incluso la última cifra que sí escribe, el siete, fue en parte una conjetura: el extremo del palo parecía caer en algún punto entre treinta y seis coma seis y treinta y seis coma siete, y tuvo que estimarlo. Para contar cifras significativas, empiece en la primera

cifra medida a la izquierda y cuente hasta la última escrita a la derecha; treinta y seis coma siete tiene tres. El número de cifras significativas indica lo preciso que era el instrumento. Una báscula de cocina que muestra gramos enteros no puede dar honestamente el peso de una especia hasta la décima de gramo, por mucho cuidado que ponga al leerla.

Los ceros requieren un cuidado especial, porque algunos se midieron y otros solo ocupan un lugar. En cero coma cero cincuenta y tres, los ceros de delante solo muestran dónde está la coma decimal, así que no cuentan; el número tiene dos cifras significativas. En diez coma cero cincuenta y tres, los ceros están entre otras cifras y se midieron de verdad, así que cuentan las cinco cifras. Un número redondo como mil trescientos es ambiguo: sus ceros podrían haberse medido o solo rellenar espacio, así que podría tener dos, tres o cuatro cifras significativas. Para evitar esa confusión, el libro sugiere escribir esos números en potencias de diez. La regla práctica: los ceros cuentan, salvo cuando solo ocupan un lugar.

$0.053 \rightarrow 2$	$0.0009 \rightarrow 1$
$10.053 \rightarrow 5$	$15\,450.0 \rightarrow 6$
$1300 ? \rightarrow 2-4$	$87.990 \rightarrow 5$
$1.3 \times 10^3 \rightarrow 2$	$30.42 \rightarrow 4$

Qué ceros cuentan

El libro termina con una comprobación rápida. Cero coma cero cero cero nueve tiene una cifra significativa, ya que todos los ceros solo ocupan un lugar. Quince mil cuatrocientos cincuenta coma cero tiene seis, porque los ceros, incluido el que va tras la coma, muestran una medición hecha hasta la décima. Ochenta y siete coma novecientos noventa tiene cinco, y el cero final registra una medición hecha hasta la milésima. Y treinta coma cuarenta y dos tiene cuatro, porque un cero situado entre otras cifras siempre cuenta.

Para recordar

Todo lo calculado a partir de mediciones también es incierto; al multiplicar o dividir, se suman las pequeñas incertidumbres porcentuales. Si el más o menos de un instrumento es tan grande como la diferencia que quiere ver, como con el cronómetro de la velocista, no puede distinguir los resultados. Un instrumento más preciso, como un calibre frente a una regla, mide en pasos más pequeños. Escriba solo tantas cifras como el instrumento midió de verdad; la última ya es en parte estimada. Los ceros cuentan cuando se midieron, no cuando solo sujetan la coma decimal en su sitio.

Preguntas

1. ¿Por qué el entrenador no puede estar seguro de que la velocista sea más rápida, al pasar de 12,04 s a 11,96 s?
 - a. Porque el más o menos del cronómetro es lo bastante grande para explicar la pequeña diferencia
 - b. Porque los tiempos de velocidad nunca se comparan de una semana a otra
 - c. Porque 100 metros es demasiado corto para cronometrarlo
 - d. Porque la segunda carrera fue más lenta
2. La longitud de un suelo tiene una incertidumbre del 2 % y su anchura del 1 %. ¿Qué incertidumbre tiene su área?
 - a. 1 %

- b. 2 %
 - c. 3 %
 - d. 6 %
3. ¿Por qué no puede anotar la longitud de un palo como 36,71 cm si la midió con una regla corriente?
- a. Porque 36,71 es demasiado largo para un palo
 - b. Porque una regla no puede medir hasta la centésima de centímetro
 - c. Porque las longitudes siempre deben terminar en cero
 - d. Porque las reglas solo miden en pulgadas
4. ¿Cuántas cifras significativas tiene 30,42?
- a. Dos
 - b. Tres
 - c. Cinco
 - d. Cuatro

Respuestas

- 1. a)** Cuando la incertidumbre del instrumento es tan grande como la diferencia que se quiere ver, no se pueden distinguir los resultados.
- 2. c)** Al multiplicar mediciones con incertidumbres pequeñas, las incertidumbres porcentuales se suman: $2 \% + 1 \% = 3 \%$.
- 3. b)** Se escriben solo tantas cifras como el instrumento midió de verdad, y una regla lee milímetros, no centésimas de centímetro.
- 4. d)** Un cero situado entre otras cifras se midió y siempre cuenta, así que las cuatro cifras son significativas.

Ejercicios

1. Decida cuántas cifras significativas tiene cada número y diga por qué: 0,053; 10,053; 0,0009; 87,990.

Pista: Los ceros de delante solo sitúan la coma decimal; los ceros entre cifras o al final tras la coma se midieron.

Respuesta: 0,053 tiene dos, ya que los ceros de delante solo ocupan un lugar. 10,053 tiene cinco, ya que sus ceros están entre otras cifras. 0,0009 tiene una. 87,990 tiene cinco, y el cero final muestra una medición hasta la milésima.

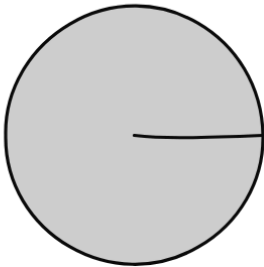
2. Un suelo mide 4,00 m de largo y 3,00 m de ancho, con incertidumbres del 2 % y el 1 %. ¿Cuál es el área, y cuántos metros cuadrados podría desviarse, más o menos?

Pista: Multiplique para el área y sume los porcentajes para su incertidumbre.

Respuesta: El área es de 12,0 metros cuadrados con una incertidumbre del 3 %, que es más o menos un tercio de metro cuadrado, redondeado por el libro a 0,4 metros cuadrados.

Cifras honestas y conjeturas audaces

Mida con una cinta un tablero de mesa redondo y verá que su radio, del centro al borde, es de alrededor de uno coma dos metros. Pida el área a una calculadora y mostrará orgullosa ocho cifras, cuatro coma cinco dos tres ocho nueve, etcétera. Cada cifra parece segura. Pero su cinta solo le dio dos cifras para empezar, así que ¿cómo puede la respuesta tener ocho? No puede, y esta última parte trata de cuántas cifras se ha ganado de verdad una respuesta, y luego del arte contrario: hacer una buena conjetura casi sin cifras.



$$r = 1.2 \text{ m}$$

$$4.5238934 \text{ m}^2$$

$$A = \pi r^2 \approx 4.5 \text{ m}^2$$

2 CIFRAS SIG.

Las cifras que permite el radio

La regla básica del libro es sencilla. Cuando se combinan mediciones de distinta calidad, la respuesta no puede ser más precisa que la menos precisa de ellas. Una cadena es tan fuerte como su eslabón más débil, y un cálculo es tan bueno como su medición más tosca. Hay dos versiones de la regla, una para multiplicar y dividir, y otra para sumar y restar.

Al multiplicar y dividir, la respuesta conserva tantas cifras significativas como la medición que tiene menos. El radio de la mesa tenía dos, así que el área es honestamente cuatro coma cinco metros cuadrados, dos cifras, no más. No importa que el número pi, que también usa para hallar el área, se conozca con muchas más cifras; el radio es el eslabón más débil. Lo mismo pasa con una dosis de medicamento calculada a partir de un peso leído en una báscula de baño: la dosis no puede ser más exacta que esa lectura.

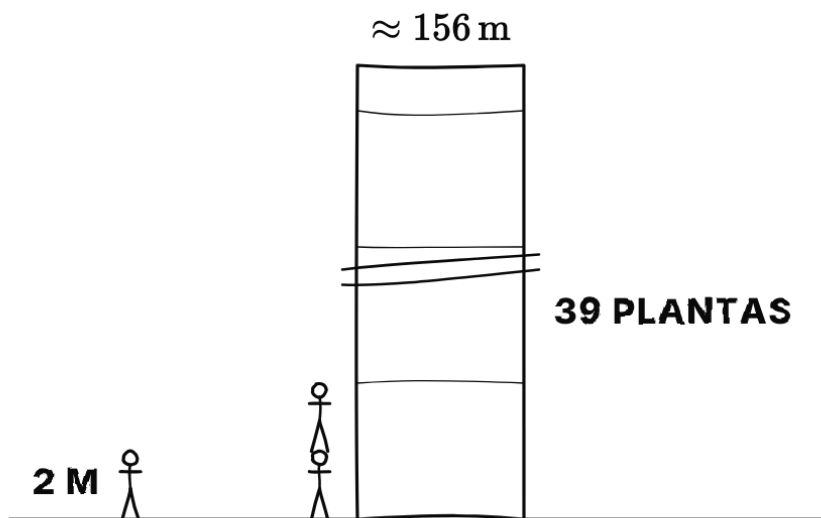
Al sumar y restar, la regla se refiere en cambio a los decimales. El libro sigue un cargamento de patatas. Compra siete coma cincuenta y seis kilogramos en una tienda, en una báscula que lee centésimas de kilogramo. Deja seis coma cero cincuenta y dos kilogramos en un laboratorio, en una báscula más fina que lee milésimas. Luego añade en casa trece coma siete kilogramos, pesados en una báscula de baño que solo lee décimas. Haga las cuentas y obtendrá quince coma doscientos ocho kilogramos, pero la báscula de baño solo sabía de décimas, así que la respuesta honesta es quince coma dos.

$$\begin{array}{r}
 7.56 \text{ kg} \\
 - 6.052 \text{ kg} \\
 + 13.7 \text{ kg} \quad \textbf{SOLO DÉCIMAS} \\
 \hline
 15.208 \text{ kg} \longrightarrow 15.2 \text{ kg}
 \end{array}$$

Al sumar: los menos decimales

Algunos números nunca limitan las cifras, porque son exactos. Si una mujer lleva dos bolsas de trece coma cinco libras y una de diez coma dos, el «dos» es un recuento, no una medición, así que no tiene duda; el total es treinta y siete coma dos libras. Del mismo modo, el dos de la regla para la longitud de una circunferencia es exacto. El libro explica también su propia costumbre: la mayoría de sus números llevan tres cifras significativas, y más solo donde un tema como la óptica exige un cuidado extra. Y propone una prueba rápida: un carrito de cincuenta y cinco kilogramos que acelera suavemente siente un empuje que se halla multiplicando su masa por la rapidez con que crece su velocidad; como cincuenta y cinco tiene solo dos cifras, la respuesta, uno coma cuatro en la unidad de fuerza llamada newton, también tiene solo dos.

Ahora el libro da la vuelta a toda la cuestión. Muy a menudo, científicos e ingenieros no necesitan muchas cifras en absoluto. Necesitan una estimación rápida y sensata, que el libro llama alegremente un cálculo a ojo. ¿A qué distancia está ese pueblo? ¿Más o menos qué densidad tiene este objeto? ¿Cuánta corriente circula, aproximadamente, por este circuito? Estas estimaciones descartan respuestas imposibles, le permiten poner en duda lo que afirman otros y orientan su siguiente paso. La habilidad crece con la práctica, con la intuición de las unidades y con la disposición a arriesgarse y comprometerse con un número.



Un edificio medido en personas

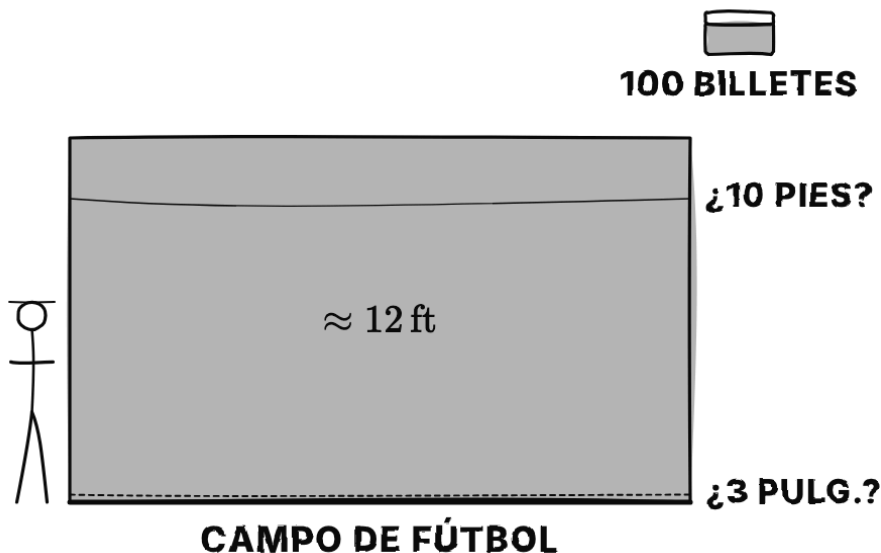
El primer ejemplo es un edificio alto de treinta y nueve plantas. ¿Qué altura tiene, sin cinta métrica? Parta de una persona. El libro toma a

un hombre adulto como de unos dos metros de alto, y una planta como unas dos personas una sobre la cabeza de la otra. Así que cada planta tiene unos cuatro metros, y treinta y nueve plantas suman unos ciento cincuenta y seis metros.

Pruébalo

Mida el ancho de su mano a la altura de la palma; en mucha gente son unos diez centímetros. Ahora recorra con la mano el ancho de una mesa, contando anchos de mano. Diez anchos de mano son alrededor de un metro, y ha medido la mesa sin regla, tal como sugiere el libro.

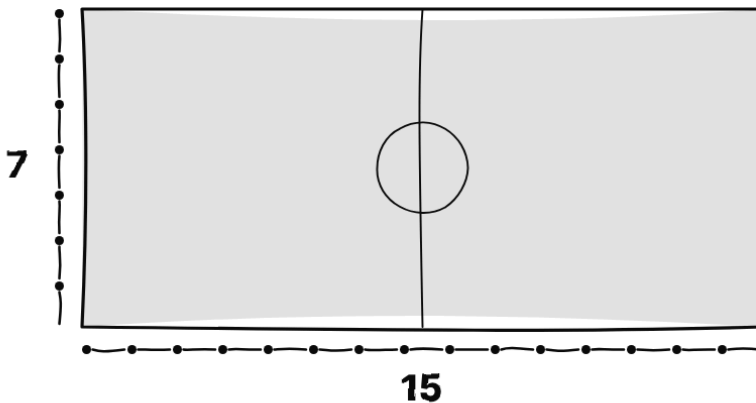
El segundo ejemplo aborda un número que casi nadie puede imaginar: un billón de dólares. El libro señala que Estados Unidos debía algo más de veintiocho billones de dólares en 2021, y sin embargo pocos pueden imaginar siquiera un billón. Así que imagínelo en billetes de cien dólares, agrupados en fajos bancarios de cien billetes, como los de las películas, cada fajo por valor de diez mil dólares. Ahora reparta todos esos fajos de manera uniforme sobre un campo de fútbol americano, de una zona de anotación a la otra. ¿Hasta qué altura llegaría el montón? Un amigo dice tres pulgadas; otro, diez pies.



Un billón de dólares en un campo

El libro lo resuelve con números deliberadamente toscos, conservando una sola cifra significativa. Un billete mide unas tres pulgadas por seis, y un fajo de cien tiene alrededor de media pulgada de grosor, así que cada fajo es un pequeño ladrillo de papel. Un billón de dólares en fajos de diez mil da unos cien millones de fajos. El campo, de cien yardas por cincuenta, sale a unos seis millones de pulgadas cuadradas. Reparta los ladrillos sobre esa área y el montón sale de unas ciento cincuenta pulgadas, unos doce pies de alto. Así que la conjetura de tres pulgadas se quedaba muy corta, y la de diez pies no estaba nada mal. La lección no es la altura exacta sino el método: una estimación aproximada y cuidadosa, construida con cosas que se pueden imaginar, gana a una corazonada.

El último reto del libro es estimar la superficie de una cancha de baloncesto solo con cálculo mental. Imagine personas de unos dos metros tumbadas una tras otra: unas quince a lo largo de la cancha y unas siete a lo ancho. Eso da unos treinta metros por catorce, y un área de unos cuatrocientos veinte metros cuadrados. Podría hacer lo mismo con su sala de estar, contando cuántas veces cabe la longitud de su cuerpo a lo largo de cada pared.



$$30 \text{ m} \times 14 \text{ m} \approx 420 \text{ m}^2$$

Una cancha en longitudes de cuerpo

Con esto termina el primer capítulo, y este curso. La física, como hemos oído, busca unas pocas leyes sencillas bajo un mundo infinitamente variado, mide ese mundo en unidades acordadas, dice con honestidad cuán segura está, y sabe cuándo contar cada cifra y cuándo basta una conjetura audaz y sensata.

Para recordar

Una respuesta nunca puede ser más precisa que la medición menos precisa que la sostiene. Al multiplicar o dividir, conserve tantas cifras significativas como la medición que tiene menos; al sumar o restar, tantos decimales como la medición más tosca. Los números exactos, como un recuento de bolsas, nunca limitan las cifras. Una buena aproximación parte de cosas conocidas, como la estatura de una persona o el ancho de una mano, y descarta enseguida las respuestas imposibles. Un billón de dólares en billetes de cien cubriría un campo de fútbol con unos doce pies de altura.

Preguntas

1. ¿Por qué el área de una mesa de 1,2 m de radio se da como 4,5 metros cuadrados y no 4,5238934?
 - a. Porque π solo se conoce con dos cifras
 - b. Porque el radio se midió con solo dos cifras significativas
 - c. Porque las áreas siempre se redondean a las décimas
 - d. Porque las calculadoras no son fiables después de dos cifras
2. ¿Por qué el peso total de las patatas se da como 15,2 kg y no 15,208 kg?
 - a. Porque la báscula de baño, la más tosca, solo lee décimas
 - b. Porque la báscula del laboratorio estaba rota
 - c. Porque las patatas pierden peso con el tiempo

- d. Porque sumar siempre quita cifras
3. ¿Por qué el «dos» de «dos bolsas de 13,5 libras» no limita las cifras de la respuesta?
- a. Porque dos es un número pequeño
 - b. Porque las bolsas no se pesan
 - c. Porque dos tiene una sola cifra
 - d. Porque es un recuento, un número exacto sin ninguna duda
4. En el ejemplo del billón de dólares, ¿cuál es la lección principal?
- a. Que el montón de dinero tendría exactamente doce pies
 - b. Que las corazonadas suelen acertar
 - c. Que una estimación aproximada, construida con cosas que se pueden imaginar, gana a una corazonada
 - d. Que solo sirven los cálculos exactos

Respuestas

1. **b)** Al multiplicar, la respuesta conserva tantas cifras significativas como la medición que tiene menos, aquí el radio.
2. **a)** Al sumar y restar, la respuesta no conserva más decimales que la medición menos precisa.
3. **d)** Los números contados o definidos no tienen incertidumbre, así que nunca limitan las cifras significativas.
4. **c)** Lo importante es el método: una cuenta aproximada y cuidadosa con piezas conocidas descarta conjeturas disparatadas como tres pulgadas.

Ejemplos resueltos

¿Qué altura tiene un edificio de 39 plantas? Estime la altura de un edificio de 39 plantas, tomando una persona como de unos 2 m de alto y una planta como de unas dos personas de alto.

Una planta son unas dos personas, de unos 2 m cada una, así que una planta mide unos 4 m.

Hay 39 plantas.

39 plantas de unos 4 m cada una suman unos 156 m.

Respuesta: Unos 156 m.

Ejercicios

1. Una mujer tiene tres bolsas: dos pesan 13,5 libras cada una y una pesa 10,2 libras. ¿Cuál es su peso total?

Pista: El número de bolsas es exacto; sume los pesos y fíjese en sus decimales.

Respuesta: 37,2 libras: $13,5 + 13,5 + 10,2 = 37,2$, y el recuento de dos bolsas no limita las cifras.

2. Con cálculo mental, estime la superficie de una cancha de baloncesto imaginando personas de unos dos metros tumbadas una tras otra.

Pista: Calcule cuántas personas caben a lo largo y a lo ancho.

Respuesta: Unas quince personas a lo largo y siete a lo ancho dan unos 30 m por 14 m, un área de unos 420 metros cuadrados.