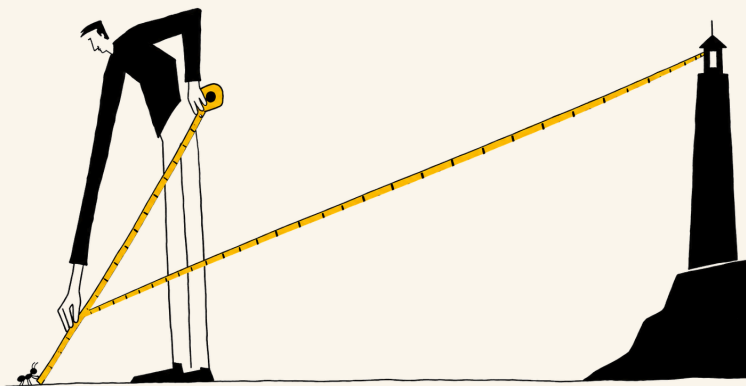


Física universitaria



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 fuerzas, allá y aquí

Pocas leyes para un mundo abarrotado

Física sin ser físico

Modelos, teorías y leyes

Suponer, comprobar, volver a suponer

Física antigua, física nueva

Los números necesitan unidades

Un segundo, un metro, un kilogramo

Potencias de diez

Del plancton a las galaxias, y de vuelta a los kilómetros

Terminando el viaje a casa

Cerca de la verdad, cerca entre sí

Más o menos

La incertidumbre viaja, y las cifras hablan

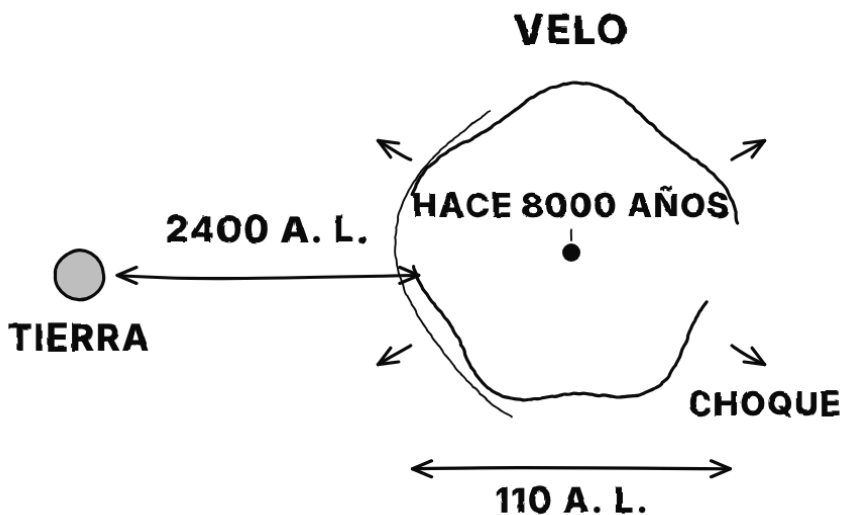
Los ceros y las respuestas honestas

Tres cifras, y una estimación de un billón

¿Qué altura tiene un billón?

Las mismas fuerzas, allá y aquí

Esta noche, cuando oscurezca, salga y mire hacia arriba durante un minuto. En algún lugar del cielo, sobre la constelación del Cisne, hay un velo tenue y desgarrado de gas luminoso que sus ojos no pueden ver, pero un gran telescopio sí. Se llama nebulosa del Velo, y el libro empieza con una fotografía suya: cuerdas finas y retorcidas y amplias láminas de luz en rojos, verdes y azules, extendidas sobre la oscuridad. ¿Qué formó esas cuerdas, y por qué debería importarle a alguien que no es astrónomo? La respuesta del libro sorprende: las fuerzas que dieron forma a esa nube son exactamente las mismas que actúan en su cocina.



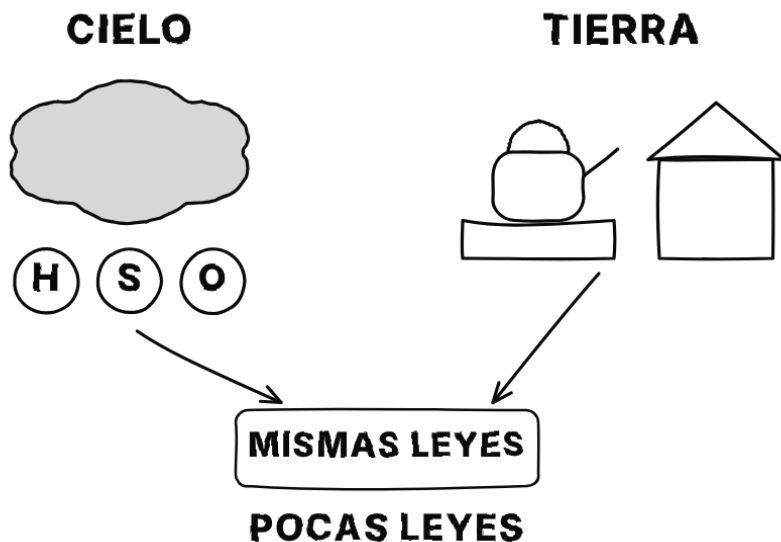
Una nube desgarrada, muy lejos

Esto es lo que muestra la imagen. Hace unos ocho mil años, una estrella unas veinte veces más grande que nuestro Sol estalló en pedazos en una explosión llamada supernova. La explosión lanzó hacia fuera una onda de choque, y esa onda sigue avanzando hoy, chocando contra nubes de polvo y gas y calentándolas hasta que brillan. Todo ese resto luminoso mide hoy más de ciento diez años luz de un lado a otro. Un año luz suena a tiempo, pero es una distancia: lo que recorre la luz en un año, unos nueve billones y medio de kilómetros. La nebulosa está a unos dos mil cuatrocientos años luz de nosotros.

¿Cómo aprenden los científicos algo de un objeto tan lejano? Lo observan cambiar. El telescopio espacial Hubble tomó fotos

detalladas del Velo en 1997, y las imágenes nuevas pueden ponerse junto a las antiguas. Al compararlas se ve cuánto ha avanzado la onda de choque, cómo se han estirado los filamentos y, por tanto, cómo crecen y se extienden esas nubes. Es un poco como comparar en el móvil dos fotos de la misma calle tomadas con años de diferencia: lo que se ha movido cuenta lo que ha pasado entretanto.

Y ahora, lo sorprendente. Los colores de la imagen no son pintura añadida por belleza. Son el brillo del hidrógeno, el azufre, el oxígeno y elementos parecidos, los mismos elementos que forman el aire que usted respira y el agua que bebe. El gas de allá empuja, se calienta y se mezcla según las mismas reglas que el gas de aquí, en la Tierra, solo que a una escala inmensamente mayor. Tanto si los ingenieros planean enviar un cohete al espacio como si solo calculan cómo calentar una casa nueva, tratan con las mismas fuerzas que están desgarrando el Velo. El libro lo dice sin rodeos: las fuerzas de allá son las mismas que las de aquí, en la Tierra. Dicho de otro modo, no hay una física para el cielo y otra para la cocina; hay un solo conjunto de reglas, y funciona en todas partes.

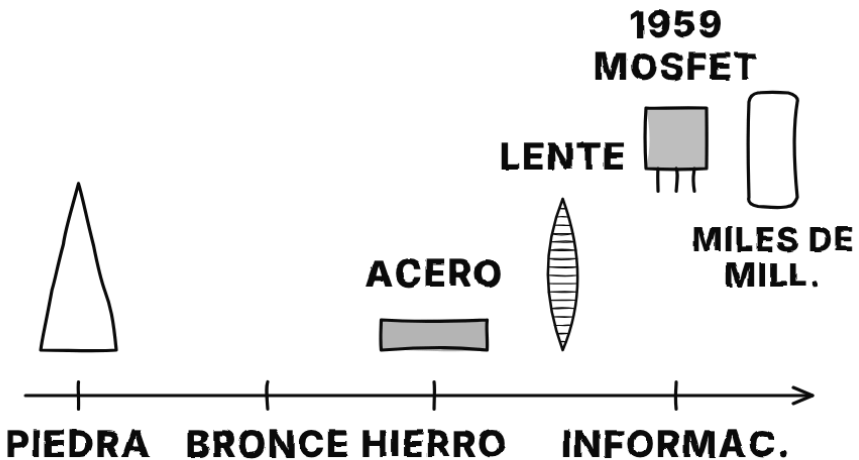


Un solo conjunto de reglas

Esa idea es el corazón de todo el capítulo. El pie de la fotografía añade algo notable: las leyes de la física son sorprendentemente pocas. Detrás de la deslumbrante variedad del mundo, desde estrellas que explotan hasta teteras que hierven, parece haber una sencillez de fondo.

Mucha gente se acerca a la física con un poco de miedo. Se imaginan ecuaciones difíciles y fórmulas que se memorizan para un examen y luego se olvidan, sin ninguna utilidad fuera del aula. El libro lo admite abiertamente y luego defiende lo contrario: la física tiene en su vida un papel mucho mayor de lo que cree, sea cual sea su trabajo.

Piense en la larga historia de las herramientas humanas. Damos nombre a edades enteras de la historia por sus materiales: la Edad de Piedra, la Edad del Bronce, la Edad del Hierro. Cada edad quedó marcada por lo que la gente sabía de las propiedades físicas de algún material y por lo bien que sabía trabajarlo. Saber cómo se astilla una piedra al golpearla dio una punta de lanza afilada. Saber qué ocurre cuando se incorpora carbono al hierro, en hornos del sur de la India y de Sri Lanka, dio al mundo su primer acero de alta calidad. Saber pulir y bruñir trozos de vidrio, y cómo combinarlos, nos dio las lentes y los instrumentos hechos con ellas. Todo esto, dice el libro, es física, aunque nadie la llamara así.



Edades con nombre de material

Nuestra propia época se llama la Era de la Información, y también se apoya en un invento físico. En 1959, en un laboratorio de Nueva Jersey, dos científicos, Mohamed Atalla, nacido en Egipto, y Dawon Kahng, nacido en Corea, construyeron un diminuto interruptor llamado MOSFET, siglas en inglés del transistor de efecto de campo de metal, óxido y semiconductor. La mayoría de la gente nunca ha oído hablar de él, y sin embargo se han fabricado más interruptores de estos que cualquier otro objeto en la historia humana. Hay miles de millones dentro del teléfono que lleva en el bolsillo, encendiéndose y apagándose para hacer funcionar cada aplicación, y más en el chip que controla el velocímetro de su coche. Están en ordenadores, microondas, instrumentos médicos y casi todos los aparatos electrónicos que usted tiene. Es un buen recordatorio de que los grandes inventos de nuestro tiempo surgieron de personas de orígenes muy distintos trabajando juntas.

Las noticias están llenas de tecnologías que parecen magia: trenes que flotan sobre las vías, capas que desvían la luz a su alrededor, robots diminutos que cazan células cancerosas dentro del cuerpo. Todas ellas, corrientes o asombrosas, dependen de los principios de la física. Y no solo los inventores usan la física. Ingenieros, pilotos, médicos, fisioterapeutas, electricistas y programadores la usan en su trabajo diario. Un piloto debe entender cómo el viento desvía el avión de su ruta, y un fisioterapeuta debe entender las fuerzas que soportan los músculos cuando el cuerpo se dobla y se mueve. Hasta la aplicación de mapas que le guía por la ciudad hace física en silencio: calcula dónde está usted a partir de señales que llegan de satélites muy por encima.

Por último, el libro le cuenta lo que viene. Primero, una breve historia de cómo la gente llegó a estudiar la naturaleza con cuidado, desde los

filósofos naturales del antiguo Oriente Próximo y el Mediterráneo hasta Isaac Newton y las leyes que llevan su nombre. Luego, los patrones acordados que usan los científicos para medir, para que todos hablen un mismo idioma de números y unidades. Y al final, una mirada honesta a los límites de la medición: cuánto se acerca una medida a la verdad, cuánto coinciden las medidas repetidas y por qué los científicos se esfuerzan tanto en decir claramente lo que no pueden saber.

Para recordar

La nebulosa del Velo es el resto luminoso de una estrella que explotó hace unos ocho mil años, y su onda de choque sigue extendiéndose. Las fuerzas que le dan forma son las mismas que actúan en la Tierra, en los cohetes y en la calefacción de una casa. Las leyes de la física son pocas, lo que sugiere una sencillez profunda detrás de la variedad del mundo. Cada época de la técnica humana, de las herramientas de piedra a los transistores de su teléfono, se ha apoyado en conocer las propiedades físicas de los materiales. Por delante quedan la historia de la física, los patrones de medida y los límites honestos de la precisión con que puede medirse cualquier cosa.

Preguntas

1. ¿Por qué las formas de la nebulosa del Velo siguen cambiando, de modo que las fotos de 1997 y las de hoy son distintas?

- a. Porque las cámaras de los telescopios han mejorado
 - b. Porque la onda de choque de la explosión sigue avanzando hacia el gas y el polvo
 - c. Porque la estrella sigue explotando una y otra vez
 - d. Porque la Tierra se ha acercado a la nube
2. En la lección se menciona el año luz. ¿Qué tipo de magnitud es?
- a. Un tiempo: la duración de un año
 - b. Una velocidad: lo rápido que va la luz
 - c. Una distancia: lo que recorre la luz en un año
 - d. Una edad: cuántos años tiene una estrella
3. ¿Qué se deduce de que las fuerzas de la nebulosa del Velo sean las mismas que en la Tierra?
- a. Las reglas aprendidas en la Tierra, para cohetes o la calefacción de una casa, también describen la nube lejana
 - b. La nebulosa debe estar mucho más cerca de lo que parece
 - c. La física de la Tierra es solo una pequeña copia de la astronomía
 - d. Los gases de la Tierra brillarán algún día como la nebulosa
4. ¿Por qué la lección nombra edades históricas enteras por materiales como la piedra, el bronce y el hierro?
- a. Porque eran los únicos materiales que tenía la gente
 - b. Porque cada edad quedó marcada por saber cómo se comporta un material y cómo trabajarlo
 - c. Porque esos materiales los descubrieron físicos
 - d. Porque las edades terminaron cuando se agotaron los materiales

Respuestas

- 1. b)** La onda de choque de la explosión sigue corriendo hacia fuera y chocando con nubes de gas y polvo, así que comparar fotos muestra cuánto ha avanzado.
- 2. c)** Suena a tiempo, pero es una distancia, unos nueve billones y medio de kilómetros.
- 3. a)** No hay una física para el cielo y otra para la cocina; un solo conjunto de reglas funciona en todas partes.
- 4. b)** Cada edad quedó marcada por lo que la gente sabía de las propiedades físicas de un material y por lo bien que sabía trabajarlo.

Ejemplos resueltos

¿A qué distancia está la nebulosa del Velo? La nebulosa del Velo está a unos 2400 años luz, y un año luz son unos 9,5 billones de kilómetros. ¿A cuántos kilómetros, aproximadamente, está?

Un año luz es una distancia, así que 2400 años luz son 2400 pasos iguales, cada uno de 9,5 billones de kilómetros.

Para sumar pasos iguales multiplicamos: 2400 por 9,5 billones de kilómetros.

2400 por 9,5 da 22 800, así que la distancia es de unos 22 800 billones de kilómetros.

Son unos veintitrés mil billones de kilómetros, un número demasiado grande para imaginarlo; por eso los astrónomos prefieren los años luz.

Respuesta: unos 22 800 billones de kilómetros

Ejercicios

- 1.** Toda la nebulosa del Velo mide unos 110 años luz de lado a lado. ¿Cuántos kilómetros son, aproximadamente, tomando 9,5 billones de

kilómetros por año luz?

Pista: Cada año luz es un paso igual de 9,5 billones de kilómetros; cuente cuántos pasos hay.

Respuesta: Unos 1045 billones de kilómetros, aproximadamente mil billones: 110 por 9,5 billones de kilómetros.

2. Explique con sus palabras por qué un piloto y un fisioterapeuta necesitan la física, aunque sus trabajos no se parezcan en nada.

Pista: Pregúntese con qué fuerzas trata cada uno.

Respuesta: Un piloto debe entender cómo las fuerzas del viento desvían el avión de su ruta, y un fisioterapeuta debe entender las fuerzas que soportan los músculos cuando el cuerpo se dobla y se mueve. Ambos tratan con fuerzas, así que la misma física sirve a los dos oficios.

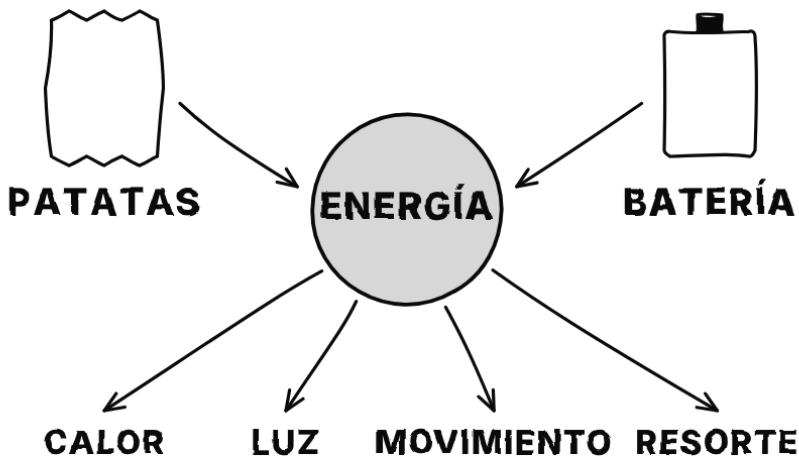
3. La mayoría de la gente nunca ha oído hablar del MOSFET, y sin embargo la lección lo llama la base de la electrónica moderna. ¿Cómo pueden ser ciertas ambas cosas?

Pista: Piense en dónde está el dispositivo y cuántos hay.

Respuesta: Es un interruptor diminuto escondido dentro de teléfonos, ordenadores, microondas e instrumentos médicos, así que nadie lo ve, pero se han fabricado más que cualquier otro objeto de la historia y casi todos los aparatos electrónicos dependen de él.

Pocas leyes para un mundo abarrotado

Un acertijo: ¿qué tiene en común una bolsa de patatas fritas con la batería de un coche? Una se come, la otra va bajo el capó de un coche, y parecen pertenecer a mundos distintos. Sin embargo, el libro responde que, en un sentido profundo, son el mismo tipo de cosa. Las dos guardan energía, y esa energía puede convertirse en otras formas: las patatas, en el calor y el movimiento de su cuerpo; la batería, en la chispa que arranca el motor.



Una ley, muchas formas de energía

Antes de ver por qué importa eso, fíjese en lo abarrotado que está el mundo. Cada día se encuentra con una variedad infinita de cosas: pájaros en vuelo, los colores de las flores, los rayos, la atracción que hace caer las cosas. A lo largo de los siglos se ha ido más lejos: desde las partículas más diminutas dentro de los átomos, los quarks, hasta enormes cúmulos de galaxias, y luego al paso del tiempo y a la pregunta de cómo empezó el universo. Hemos acumulado un enorme montón de datos sobre todo ello. Y esta es la sorpresa en la que insiste el libro: frente a tanto detalle, un conjunto de leyes sorprendentemente pequeño y unificado explica lo que vemos. Buscamos orden, y la naturaleza, como dice el libro, resulta ser «notablemente cooperativa».

Las patatas fritas y la batería muestran cómo funciona esto. Una ley, llamada conservación de la energía, dice que la energía puede cambiar de forma pero nunca se pierde. Esa sola frase une las calorías de los alimentos, las baterías, el calor, la luz e incluso el muelle enrollado dentro de un viejo reloj de cuerda. Una vez que la conoce, ya no son cinco temas separados que memorizar, sino cinco caras de una sola idea. Dicho de otro modo, una buena ley es una llave que abre muchas puertas a la vez, así que no hace falta llevar una llave distinta para cada una. Eso, dice el libro, es lo que hace agradable estudiar física: comprender en lugar de memorizar listas.

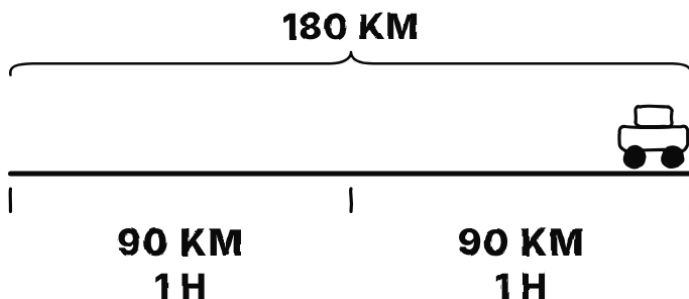
Entonces, ¿qué es exactamente la física? La ciencia en su conjunto está formada por las teorías y leyes que enuncian verdades generales sobre la naturaleza, junto con todo el conocimiento que contienen. La física es la parte que describe cómo la energía, la materia, el espacio y el tiempo actúan entre sí, y siempre pregunta qué mecanismo básico hay debajo de un fenómeno. Su alcance es amplio: desde el movimiento de diminutas partículas con carga hasta el de personas,

coches y naves espaciales. Casi todo lo que le rodea puede describirse con bastante precisión mediante sus leyes.

Tome el teléfono inteligente que tiene en la mano. Dentro del teléfono, la electricidad recorre un laberinto de circuitos diminutos, y la física describe exactamente cómo se mueve por ellos. Los ingenieros usan ese conocimiento para elegir los materiales adecuados y trazar los circuitos al construir el teléfono.

Ahora abra el mapa en ese teléfono. El sistema de navegación, llamado GPS, se apoya en una de las relaciones más sencillas de la física: el vínculo entre velocidad, distancia y tiempo. En palabras: la distancia recorrida es igual a la velocidad multiplicada por el tiempo que la mantiene. ¿De dónde sale eso? Si va al mismo ritmo cada hora, cada hora añade el mismo tramo de carretera, así que los tramos simplemente se van sumando, hora tras hora. Suponga que el velocímetro de su coche se mantiene en noventa kilómetros por hora durante dos horas; eso es noventa más noventa, o ciento ochenta kilómetros. La misma relación funciona al revés: ciento ochenta kilómetros a noventa kilómetros por hora llevan dos horas, y así es como el mapa calcula su tiempo de viaje.

$$d = v t$$



La distancia es velocidad por tiempo

Claro que la navegación real es mucho más exigente. Tiene que tener en cuenta la forma del terreno, las distancias exactas a los satélites que giran muy por encima y hasta un efecto extraño llamado dilatación del tiempo, en el que los relojes que se mueven deprisa o están bajo otra atracción de la gravedad marchan a ritmos ligeramente distintos. La mayoría de estos cálculos se basan en métodos desarrollados por Gladys West, matemática e informática que programó los primeros ordenadores capaces de localizar lugares de la Tierra con gran precisión desde muy lejos. Cada vez que su teléfono muestra el punto azul de donde usted está, usa los métodos de ella para calcular su posición y cómo se relaciona con todo lo que le rodea.

El libro cierra esta apertura contando lo que ganará el lector. Por supuesto, aprenderá los temas principales de la física. Pero, sobre todo, aprenderá formas de razonar que le permitirán aplicar estas pocas leyes mucho más allá de lo que podría abarcar cualquier libro. Esos hábitos de pensar con cuidado, sostiene el libro, ayudan no solo en los exámenes, sino en cualquier carrera que elija.

Para recordar

El mundo está lleno de fenómenos distintos, pero un conjunto pequeño y unificado de leyes los explica. La conservación de la energía dice que la energía cambia de forma pero nunca se pierde, así que los alimentos, las baterías, el calor, la luz y los muelles siguen una sola regla. La física describe cómo la energía, la materia, el espacio y el tiempo actúan entre sí, y busca el mecanismo básico que hay debajo. Los circuitos de su teléfono y su navegación funcionan gracias a la física; la distancia es igual a la velocidad por el tiempo, así que a noventa kilómetros por hora durante dos horas se recorren ciento ochenta kilómetros. Aprender bien unas pocas leyes, y cómo aplicarlas, vale más que memorizar largas listas de datos.

Preguntas

1. ¿Por qué una bolsa de patatas fritas y una batería de coche son ejemplos de la misma ley?
 - a. Las dos se fabrican en fábricas

- b. Las dos guardan energía que puede cambiar a otras formas sin que se pierda nada
 - c. Las dos se gastan por completo y no dejan nada
 - d. Las dos contienen electricidad
2. ¿Qué ventaja tiene conocer una ley amplia como la conservación de la energía?
- a. Ya no hace falta medir nada
 - b. Sustituye a los experimentos
 - c. Une muchos temas en apariencia separados, así que se comprende en vez de memorizar listas
 - d. Solo explica los alimentos y las baterías
3. Un coche va a velocidad constante. Si la mantiene el doble de tiempo, ¿qué pasa con la distancia?
- a. Se duplica
 - b. Sigue igual
 - c. Se reduce a la mitad
 - d. Se multiplica por cuatro
4. Según la lección, ¿qué tiene que tener en cuenta la navegación por satélite real?
- a. Solo la velocidad del coche
 - b. El color de los satélites
 - c. El tiempo que hace ese día
 - d. La forma del terreno, las distancias a los satélites y la dilatación del tiempo

Respuestas

1. b) Las dos guardan energía que se convierte en otras formas, y la conservación de la energía dice que la energía cambia de forma pero nunca se pierde.

2. c) Una sola ley une las calorías de los alimentos, las baterías, el calor, la luz y los muelles, que pasan a ser caras de una misma idea.

3. a) Cada hora al mismo ritmo añade el mismo tramo de carretera, así que el doble de tiempo da el doble de distancia.

4. d) La navegación real tiene que tener en cuenta la forma del terreno, las distancias exactas a los satélites e incluso la dilatación del tiempo.

Ejemplos resueltos

Tiempo de viaje a partir de la distancia y la velocidad Una ruta mide 180 kilómetros y usted conduce a 90 kilómetros por hora constantes. ¿Cuánto dura el viaje?

La distancia es igual a la velocidad por el tiempo, así que el tiempo es la distancia dividida entre la velocidad.

Cada hora cubre 90 kilómetros, así que preguntamos cuántos tramos de 90 kilómetros caben en 180 kilómetros.

180 entre 90 es 2.

Respuesta: 2 horas

Ejercicios

1. Su velocímetro se mantiene en 60 kilómetros por hora durante tres horas. ¿Qué distancia recorre?

Pista: Cada hora añade el mismo tramo de carretera; sume tres.

Respuesta: 180 kilómetros: la distancia es la velocidad por el tiempo, 60 por 3.

2. Un viaje de 240 kilómetros dura 3 horas a velocidad constante.

¿Cuál es la velocidad?

Pista: Reparta la distancia a partes iguales entre las horas.

Respuesta: 80 kilómetros por hora: la velocidad es la distancia dividida entre el tiempo, 240 entre 3.

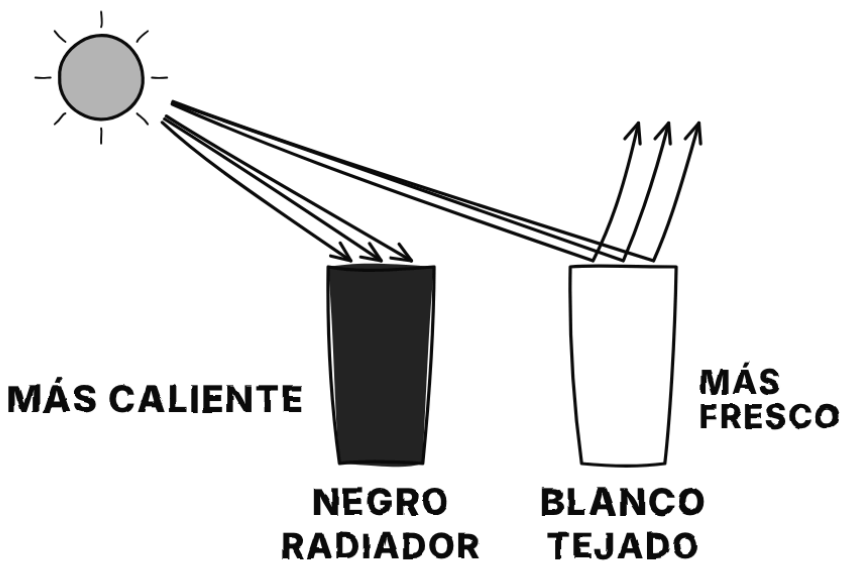
3. Con sus palabras, explique qué es la física y en qué se diferencia de simplemente reunir datos.

Pista: Piense en la energía, la materia, el espacio y el tiempo, y en los mecanismos.

Respuesta: La física describe cómo la energía, la materia, el espacio y el tiempo actúan entre sí y busca el mecanismo básico debajo de cada fenómeno. En lugar de amontonar datos, encuentra unas pocas leyes que explican muchos a la vez.

Física sin ser físico

¿Por qué la etiqueta de un microondas advierte que nunca meta dentro una cuchara de metal? ¿Y por qué las casas de los países cálidos tienen tan a menudo tejados blancos? No hace falta ser científico para hacerse esas preguntas, y el libro sostiene que tampoco hace falta para responderlas. La física, dice, es útil en la vida diaria y en trabajos que no tienen nada que ver con la ciencia.



Lo negro absorbe, lo blanco devuelve

Pruébalo

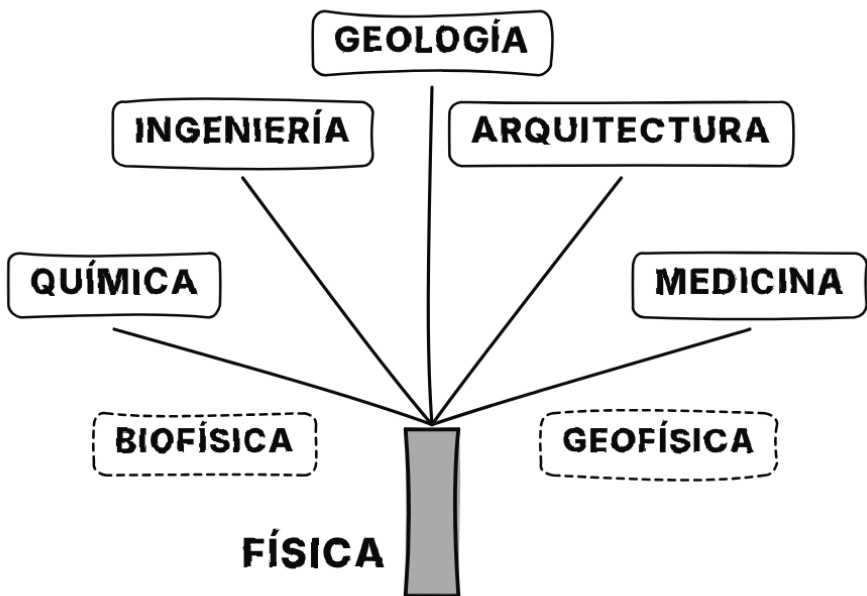
Un día de sol, llene dos vasos iguales con agua del mismo grifo. Envuelva uno en papel negro y el otro en papel blanco, y déjelos al sol durante una hora. Luego meta un dedo en cada uno. El agua del vaso negro está claramente más caliente. Una superficie oscura absorbe más de la luz solar que le llega, y una blanca devuelve más.

Esa pequeña prueba explica a la vez dos de los ejemplos del libro. Un tejado blanco mantiene más fresco el interior de una casa porque devuelve gran parte de la luz solar. Un radiador negro en el motor de un coche ayuda al motor a librarse del calor, porque una superficie oscura es buena tanto para emitir calor como para absorberlo. La misma física, funcionando en sentidos opuestos, sirve a dos fines muy distintos.

El libro enumera más acertijos cotidianos de este tipo. La física explica cómo un microondas calienta la comida, por qué el metal no debe entrar en él y por qué estos hornos podrían alterar un marcapasos. Le ayuda a entender los peligros de la radiación y a juzgarlos con calma y no con miedo. Explica cómo el encendido de un coche produce su chispa y cómo viajan las señales eléctricas por los nervios de su propio cuerpo. Incluso leer la dosis en una caja de medicamentos y medirla bien se basa en la física de la medición cuidadosa, a la que llegará este capítulo.

La física también está debajo de otros campos enteros. La química trata de cómo interactúan los átomos y las moléculas, así que tiene sus raíces en la física de los átomos y las moléculas. La mayoría de las

ramas de la ingeniería son, en palabras del libro, física aplicada. En arquitectura, la física decide si un edificio se sostiene, y da forma al sonido, la calefacción, la iluminación y la refrigeración de su interior. Partes de la geología también se apoyan mucho en ella: datar rocas por su radiactividad natural, analizar terremotos y seguir cómo se mueve el calor por la Tierra. Algunos campos son sencillamente híbridos, como la biofísica y la geofísica.



La física bajo otros campos

La vida misma está llena de física. A la escala más pequeña, ayuda a describir las paredes de las células vegetales y las finas membranas que rodean las células animales, donde ocurren cosas tan básicas como el disparo de un nervio. A la escala de una persona entera, explica el calor que desprende nuestro cuerpo y el trabajo y la

potencia de nuestros músculos. En medicina nos da los rayos X, los escáneres llamados de RM, y las mediciones del flujo sanguíneo por ultrasonido; y algunos tratamientos la usan directamente, como la radioterapia contra el cáncer, con una radiación lo bastante fuerte para arrancar electrones de los átomos, llamada radiación ionizante. Un pie de foto del libro señala un parecido de familia sorprendente: un microondas y un escáner de RM usan ondas electromagnéticas, uno para calentar comida y el otro para obtener una imagen del cerebro lo bastante precisa como para localizar un tumor. La física explica incluso nuestros sentidos: cómo hacen música los instrumentos, cómo ve el ojo los colores y cómo transmiten información los láseres.

¿Significa eso que hay que estudiar cada una de estas aplicaciones? No, dice el libro, y este es quizá su mensaje más útil. Lo más importante es conocer las leyes básicas y tener la habilidad de aplicarlas; con eso, las aplicaciones vienen solas. Estudiar física también afina su capacidad de resolver problemas, y como la física guarda las partes más básicas de la ciencia, todas las demás ciencias la usan, así que aprender física también las hace más fáciles. Dicho de otro modo: aprenda bien las raíces y será fácil trepar por las ramas.

Para recordar

No hace falta ser científico para usar la física: explica los microondas, los tejados blancos, los radiadores de coche y los nervios de su cuerpo. Las superficies oscuras absorben y emiten bien el calor, mientras que las blancas devuelven la luz del sol; ese único hecho explica tanto el radiador como el tejado fresco. La química, la ingeniería, la arquitectura y la geología se apoyan en la física, y campos como la biofísica y la geofísica la combinan con otros. En los seres vivos y en la medicina, de las membranas celulares a las imágenes de RM y la radioterapia, actúa la física. Lo más importante no es memorizar aplicaciones, sino conocer las leyes básicas y cómo aplicarlas.

Preguntas

1. En la prueba de los dos vasos, ¿por qué se calienta más el agua del vaso envuelto en negro?
 - a. Porque el papel negro es más grueso
 - b. Porque una superficie oscura absorbe más de la luz solar que le llega
 - c. Porque el papel blanco enfría el agua
 - d. Porque el papel negro produce su propio calor
2. ¿Por qué el radiador de un coche es negro mientras que los tejados de los países cálidos son blancos?
 - a. Las dos elecciones son solo por aspecto

- b. El negro es más barato de pintar
 - c. El radiador debe desprender calor, algo que una superficie oscura hace bien; el tejado debe devolver la luz del sol, algo que una superficie blanca hace bien
 - d. Los tejados blancos absorben más calor que los radiadores negros
3. ¿Por qué se dice que la química tiene sus raíces en la física?
- a. Porque trata de cómo interactúan los átomos y las moléculas, que es la física de los átomos y las moléculas
 - b. Porque los químicos usan microondas
 - c. Porque la química es una rama de la ingeniería
 - d. Porque la química la descubrieron físicos
4. ¿Qué dice el libro que es lo más importante al aprender física?
- a. Estudiar cada aplicación una por una
 - b. Memorizar los nombres de campos como la biofísica
 - c. Aprender primero los usos médicos
 - d. Conocer las leyes básicas y tener la habilidad de aplicarlas

Respuestas

- 1. b)** Una superficie oscura absorbe más de la luz solar que le llega, mientras que una blanca devuelve más.
- 2. c)** La misma física funciona en sentidos opuestos: las superficies oscuras emiten bien el calor y las blancas devuelven la luz del sol.
- 3. a)** La química trata de cómo interactúan los átomos y las moléculas, así que se apoya en la física de los átomos y las moléculas.

4. d) No hace falta estudiar cada aplicación; lo que cuenta son las leyes básicas y la habilidad de aplicarlas.

Ejercicios

1. Un amigo elige el color de un cobertizo de jardín en un lugar caluroso y soleado. Con las ideas de la lección, ¿qué color le sugeriría y por qué?

Pista: Piense en lo que hacen con la luz del sol las superficies oscuras y las blancas.

Respuesta: Blanco, o un color muy claro. Una superficie blanca devuelve gran parte de la luz solar, así que calienta menos el cobertizo, igual que un tejado blanco mantiene más fresca una casa.

2. Nombre dos formas en que aparece la física en la medicina, según la lección, y diga para qué sirve cada una.

Pista: Piense en mirar dentro del cuerpo y en tratar una enfermedad.

Respuesta: Los rayos X y la resonancia magnética permiten a los médicos ver el interior del cuerpo, por ejemplo para encontrar un tumor, y el ultrasonido mide el flujo sanguíneo. La radioterapia usa directamente radiación ionizante para tratar el cáncer.

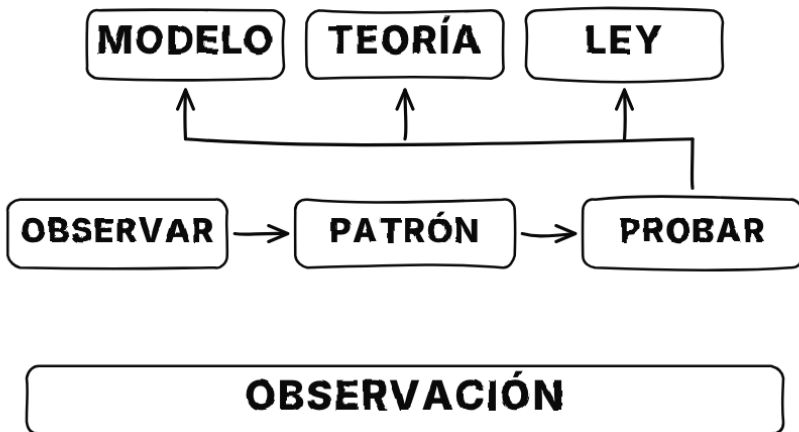
3. Explique con sus palabras por qué aprender las leyes básicas vale más que memorizar muchas aplicaciones.

Pista: Piense en las raíces y las ramas.

Respuesta: Cada aplicación, de los microondas a los escáneres médicos, sale de unas pocas leyes básicas. Si conoce esas leyes y cómo aplicarlas, puede entender aplicaciones que nunca ha estudiado, mientras que una lista memorizada solo cubre lo que contiene.

Modelos, teorías y leyes

Mire esta tarde las nubes por la ventana. Unas son blancas y esponjosas, otras planas y grises, otras altas y oscuras por abajo. ¿Alguna vez se ha sorprendido pensando que cierto tipo de nube anuncia lluvia? Si es así, ya ha dado el primer paso de la ciencia: miró, notó un patrón e hizo una conjetura sobre lo que significa.



De mirar a las leyes

El libro parte justamente de esa curiosidad cotidiana. Todos miramos a nuestro alrededor, generalizamos e intentamos entender lo que vemos. Cuando nos lo tomamos en serio, nos organizamos más:

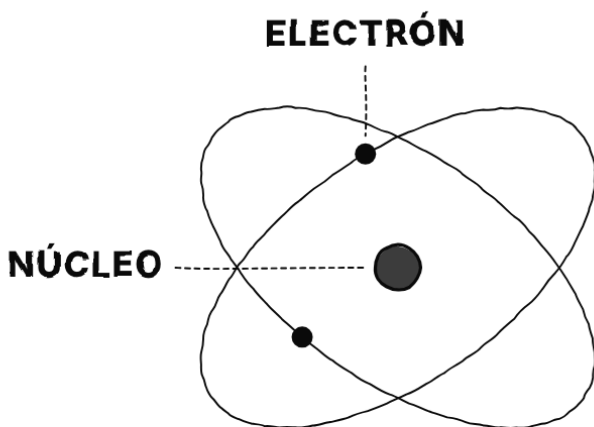
recogemos datos con cuidado, intentamos ser más precisos, hacemos experimentos controlados cuando podemos y anotamos ideas sobre cómo podrían encajar los datos. Con todo ello construimos tres tipos de enunciados, llamados modelos, teorías y leyes, para resumir y compartir lo que mostraron los experimentos. Y debajo de todos ellos hay una regla que el libro afirma con firmeza: la piedra angular es la observación, porque la ciencia debe describir el universo tal como es, no como podríamos imaginarlo.

Primero, ¿qué es una ley de la naturaleza? El libro llama a las leyes descripciones concisas del universo: enunciados humanos de las reglas de fondo que sigue todo proceso natural. Las reglas mismas están incorporadas al universo. Las personas no las hicieron y no pueden cambiarlas; solo podemos descubrirlas y entenderlas. Ese descubrimiento, añade el libro, es una aventura profundamente humana, llena de misterio, imaginación, lucha, triunfo y decepción.

Dos breves historias de las imágenes del libro muestran lo humana que es. Isaac Newton, cuyas leyes del movimiento seguimos usando, era tan reacio a publicar su obra revolucionaria que sus amigos tuvieron que convencerlo. Más tarde dirigió la Real Casa de la Moneda, y se tomó el trabajo tan en serio que introdujo estrías en el canto de las monedas, para que los tramposos ya no pudieran raspar plata sin que se notara. Marie Curie pagó con su propio dinero sus primeras investigaciones y dañó su salud por la exposición a la radiación; sigue siendo la única persona que ha ganado premios Nobel tanto de física como de química.

Ahora, la primera de las tres palabras: un modelo. Un modelo es una imagen de algo demasiado difícil, o imposible, de mostrar directamente. El ejemplo clásico es el modelo planetario del átomo,

en el que diminutos electrones giran alrededor de un núcleo central como los planetas alrededor del Sol. Nadie puede ver un electrón dando vueltas, pero esta imagen mental ayuda a explicar lo que sí podemos observar, como los colores concretos de la luz que emiten los gases calientes. Un modelo está respaldado por experimentos, pero solo es exacto en situaciones limitadas. El mapa de su teléfono es una buena comparación: no es la ciudad misma, sino una imagen simplificada, fiable para orientarse pero inútil para saber qué altura tienen los edificios. Los físicos usan modelos para analizar una situación, hacer un cálculo o construir una simulación por ordenador.



IMAGEN, NO FOTO

El modelo planetario del átomo

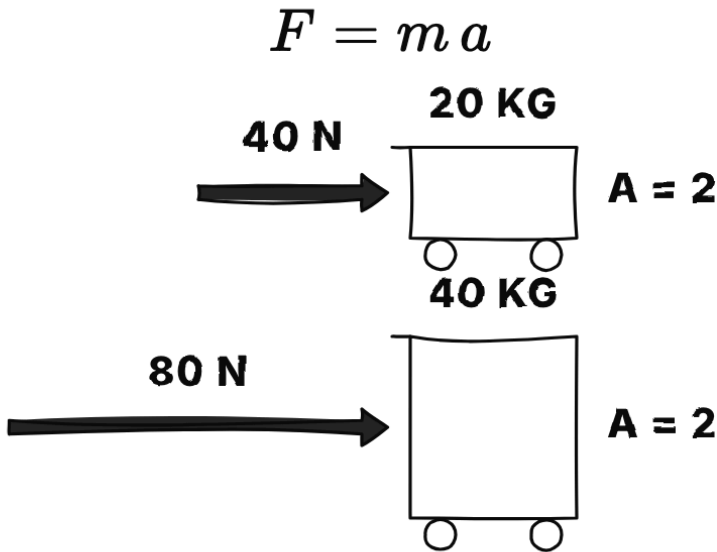
Después, una teoría. Aquí la palabra corriente nos confunde. En el habla común, una teoría es una conjetura o una corazonada, y la gente

dice «solo es una teoría». A un científico esa frase le suena absurda, porque la ciencia está construida sobre teorías. Una teoría científica es una explicación comprobable de patrones de la naturaleza, respaldada por pruebas y verificada muchas veces por distintos grupos de investigadores. Un modelo describe solo algunos aspectos de un sistema, pero una teoría debe describir todos los aspectos de cualquier cosa dentro de su dominio, el conjunto de casos que abarca. Toda consecuencia de una teoría que pueda comprobarse debe comprobarse, y si un experimento muestra alguna vez que una consecuencia es falsa, la teoría se descarta o se modifica, por ejemplo reduciendo su dominio.

Algunas teorías necesitan un modelo y otras no. La teoría de la gravedad de Newton no necesita ninguna imagen mental, porque las manzanas que caen y los planetas en órbita que describe se ven directamente. La teoría de los gases es distinta: imagina un gas como incontables átomos y moléculas, demasiado pequeños para verlos, y los imaginamos para dar sentido a lo que nuestros instrumentos nos dicen sobre cómo se comportan los gases.

Por último, una ley. Una ley describe un patrón general de la naturaleza en lenguaje conciso, respaldada por pruebas y experimentos repetidos, y a menudo cabe en una sola ecuación. Los dos ejemplos del libro son la ley de que la energía se conserva en todo proceso y la segunda ley del movimiento de Newton, que relaciona fuerza, masa y aceleración. En palabras, esa segunda ley dice que la fuerza necesaria para acelerar algo es igual a su masa multiplicada por su aceleración, es decir, por lo rápido que cambia su velocidad. La idea se siente fácilmente: un objeto más pesado, o un cambio de velocidad más rápido, necesita un empujón más fuerte. Aquí va un cálculo en voz alta. Un carrito de la compra de veinte kilos que gana

dos metros por segundo de velocidad cada segundo necesita una fuerza de veinte por dos, o cuarenta unidades de fuerza llamadas newtons. Duplique la carga a cuarenta kilos con la misma aceleración y la fuerza se duplica a ochenta newtons.



La fuerza es masa por aceleración

Entonces, ¿en qué se diferencian las leyes de las teorías? Ambas son enunciados científicos que surgieron de hipótesis comprobadas y están respaldados por pruebas. Pero una ley es breve y muy general, y describe un solo tipo de acción, mientras que una teoría es más grande, más compleja y más cambiante, y explica toda una familia de sucesos relacionados. La teoría de la evolución y la teoría de la relatividad, por ejemplo, no caben en un enunciado breve, así que no se llaman leyes. El libro lo dice con elegancia: una ley es un punto de

partida sobre el que construye el método científico, y una teoría es el resultado final de ese método. Dicho de otro modo, una ley le dice qué ocurre; una teoría le cuenta la historia más amplia de por qué ocurre todo un grupo de cosas.

Para recordar

La ciencia se apoya en la observación: debe describir el mundo tal como es, no como lo imaginamos. Un modelo es una imagen simplificada de algo que no podemos mostrar directamente, como el átomo planetario, y solo funciona en situaciones limitadas. Una teoría científica no es una conjetura, sino una explicación bien comprobada de toda una gama de sucesos relacionados, y debe cambiar si un experimento la contradice. Una ley es un enunciado breve y general de un patrón, a menudo una sola ecuación, como la segunda ley de Newton: la fuerza es igual a la masa por la aceleración. Un carrito de veinte kilos que acelera dos metros por segundo cada segundo necesita cuarenta newtons.

Preguntas

1. ¿Por qué las personas solo pueden descubrir las leyes de la naturaleza y no crearlas?
 - a. Porque solo los científicos pueden escribir leyes
 - b. Porque las reglas están incorporadas al universo y no podemos cambiarlas

- c. Porque las leyes se acuerdan por votación
 - d. Porque las leyes son demasiado complicadas para inventarlas
2. ¿Por qué el mapa de un teléfono es una buena comparación para un modelo?
- a. Porque muestra toda la ciudad exactamente como es
 - b. Porque está dibujado a partir de fotografías
 - c. Porque es una imagen simplificada, fiable para algunas preguntas e inútil para otras
 - d. Porque nunca hace falta actualizarlo
3. Un carrito necesita 40 newtons para acelerar a cierto ritmo. Si se duplica su masa y la aceleración sigue igual, ¿qué fuerza hace falta?
- a. 80 newtons
 - b. 40 newtons
 - c. 20 newtons
 - d. 160 newtons
4. ¿Por qué la relatividad y la evolución se llaman teorías y no leyes?
- a. Porque no se han comprobado
 - b. Porque son conjeturas
 - c. Porque son más recientes que las leyes
 - d. Porque explican familias enteras de sucesos y no caben en un solo enunciado breve

Respuestas

1. **b)** Las reglas están incorporadas al universo; las personas no las hicieron y no pueden cambiarlas, solo descubrirlas y entenderlas.
2. **c)** Como un modelo, el mapa se apoya en la realidad pero solo es exacto para usos limitados, como orientarse.
3. **a)** La fuerza es igual a la masa por la aceleración, así que duplicar la masa con la misma aceleración duplica la fuerza.
4. **d)** Una ley es breve y general; estas explican toda una familia de sucesos relacionados y no caben en un solo enunciado.

Ejemplos resueltos

Empujar un carrito de la compra Un carrito de la compra de 20 kilos gana 2 metros por segundo de velocidad cada segundo. Según la segunda ley de Newton, ¿qué fuerza necesita?

La segunda ley de Newton dice que la fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración.

La masa es de 20 kilos y la aceleración, 2 metros por segundo ganados cada segundo.

Multiplique: 20 por 2 es 40.

La fuerza se mide en newtons, así que el empujón es de 40 newtons.

Respuesta: 40 newtons

Ejercicios

1. Una carretilla de 50 kilos acelera 3 metros por segundo cada segundo. ¿Qué fuerza hace falta?

Pista: La fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración.

Respuesta: 150 newtons: 50 por 3.

2. Una fuerza de 60 newtons actúa sobre una caja de 15 kilos. ¿Con qué rapidez acelera la caja?

Pista: La aceleración es la fuerza dividida entre la masa.

Respuesta: 4 metros por segundo ganados cada segundo: 60 entre 15, ya que la fuerza es igual a la masa por la aceleración.

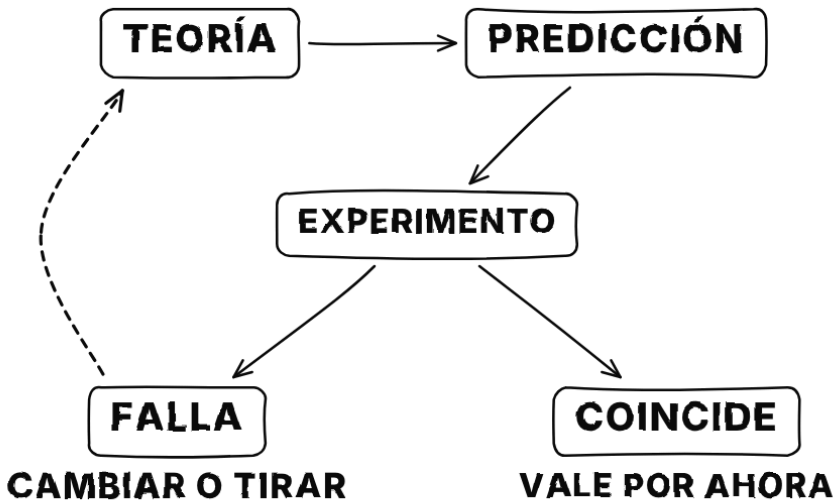
3. Explique con sus palabras la diferencia entre un modelo y una teoría científica.

Pista: Compare cuánto de un sistema debe describir cada uno.

Respuesta: Un modelo es una imagen simplificada de algo que no podemos mostrar directamente y solo es exacto en situaciones limitadas. Una teoría es una explicación bien comprobada que debe describir todos los aspectos de cualquier cosa dentro de su dominio, y hay que descartarla o cambiarla si un experimento la contradice.

Suponer, comprobar, volver a suponer

Es una mañana fría, gira la llave y el coche no arranca. ¿Qué hace a continuación? La mayoría de la gente hace algo bastante científico sin darse cuenta: supone una causa, la comprueba y, si la suposición era errónea, vuelve a suponer. El libro usa justamente esta escena para mostrar cómo funciona la ciencia.



Una predicción es una prueba

Antes del coche, una pequeña cuestión de nombres. Además de las leyes y las teorías, hay enunciados que se aplican de forma más limitada, que suelen llamarse principios. El principio de Pascal, por

ejemplo, solo vale en los fluidos. El libro admite, eso sí, que la gente no siempre distingue con cuidado entre leyes y principios.

Los modelos, las teorías y las leyes ayudan primero a los científicos a dar sentido a datos que ya han reunido. Pero a menudo, una vez establecidos, hacen algo más emocionante: orientan a los científicos hacia descubrimientos que de otro modo no habrían hecho. A veces implican que existe algún objeto o fenómeno que nadie ha visto todavía. Cuando la búsqueda lo encuentra, es un triunfo notable, y el libro atribuye al orden de fondo del universo que sean posibles predicciones tan espectaculares.

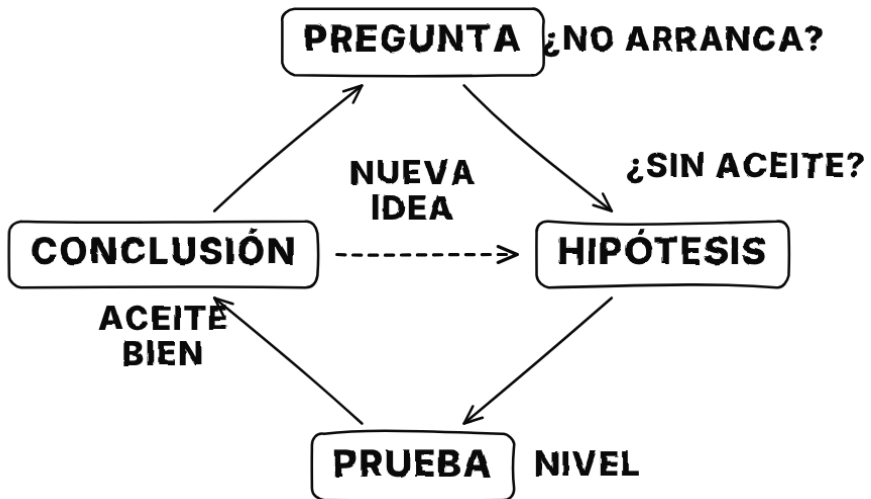
La misma regla que hace poderosas las predicciones también las hace peligrosas. Si un experimento no confirma una predicción, la teoría o la ley es errónea, por elegante o cómoda que sea. Y ninguna ley puede conocerse con certeza absoluta, porque nadie puede hacer todos los experimentos imaginables en todas las situaciones posibles. Así que los físicos tratan una ley o una teoría como válida hasta que aparece un contraejemplo. Si un experimento bueno y comprobable contradice incluso una ley bien asentada, esa ley debe cambiarse o descartarse por completo. Dicho de otro modo, se confía en una ley solo mientras los experimentos cuidadosos sigan estando de acuerdo con ella.

El libro llama a todo este esfuerzo una aventura, como navegar por un océano sin cartografiar: se hacen descubrimientos, se forman modelos, teorías y leyes, y el universo parece aún más bello por lo que llegamos a entender.

Los hábitos que hay detrás de esta aventura son antiguos. Ibn al-Haytham, también llamado Alhacén, trabajó en El Cairo hace unos mil años e hizo avanzar mucho la comprensión de la luz y la visión.

Enseñaba que un científico debe estar dispuesto a rechazar lo que todos creen, a ser «el enemigo» de todo lo que lee, y a fiarse solo de las pruebas objetivas. Insistía en repetir los experimentos y comprobar los resultados, y advertía que nuestros sentidos y expectativas pueden engañarnos. Su obra fue precursora de lo que hoy llamamos el método científico.

Ese método suele seguir estos pasos. Empieza con una observación y una pregunta. Luego viene algo de investigación y, a partir de ella, una hipótesis, una posible respuesta que puede comprobarse. Después, un experimento pone a prueba la hipótesis. Por último se analizan los resultados y se saca una conclusión. El libro subraya que el método no es solo para científicos; puede usarse en muchas situaciones y adaptarse a ellas.



El método, aplicado a un coche

Volvamos al coche que no arranca. La pregunta es sencilla: ¿por qué? Investiga las razones por las que un coche puede no arrancar y formula una hipótesis: quizá no tiene aceite en el motor. Para comprobarlo, abre el capó y mira el nivel de aceite. El aceite está en un nivel correcto, así que concluye que el aceite no es el problema. Eso no es un fracaso; es un resultado. Formula una nueva hipótesis y vuelve a recorrer los pasos. Funciona igual cuando su teléfono no se conecta: sospecha de la red, la comprueba en otro aparato y, si allí va bien, pasa al siguiente sospechoso. Dicho de otro modo, cada prueba o encuentra la causa o tacha a un sospechoso de la lista, y ambas cosas le acercan a la respuesta.

Para recordar

Los principios son enunciados que se aplican de forma más limitada que las leyes, como el principio de Pascal para los fluidos. Los modelos, las teorías y las leyes no solo ordenan datos, sino que también predicen cosas aún no vistas, y una predicción acertada es un triunfo de la ciencia. Una predicción fallida muestra que la teoría o la ley es errónea, y ninguna ley es nunca segura, porque no pueden hacerse todos los experimentos. El método científico va de la observación y la pregunta, pasando por la investigación y la hipótesis, al experimento, el análisis y la conclusión. Cuando una hipótesis falla, como al revisar el aceite de un coche que no arranca, se formula otra y se vuelve a comprobar.

Preguntas

1. ¿Por qué el principio de Pascal se llama principio y no ley?
 - a. Porque lo descubrió una sola persona
 - b. Porque se aplica de forma más limitada, solo en los fluidos
 - c. Porque no se ha comprobado
 - d. Porque no puede escribirse como una ecuación
2. ¿Qué debe deducirse si un experimento cuidadoso no confirma la predicción de una teoría?
 - a. Que la teoría o la ley es errónea, por elegante que sea
 - b. Que hay que ignorar el experimento

- c. Que la predicción pasa a ser un principio
 - d. Que la teoría se conserva si resulta cómoda
3. Revisa el aceite de un coche que no arranca y está en un nivel correcto. ¿Qué le dice el método científico que haga después?
- a. Concluir que el coche no tiene ningún problema
 - b. Repetir la misma revisión del aceite hasta que falle
 - c. Formular una nueva hipótesis y comprobarla
 - d. Rendirse, ya que la prueba falló
4. ¿Por qué ninguna ley se conoce nunca con certeza absoluta?
- a. Porque las leyes las escriben personas
 - b. Porque las leyes cambian cada siglo
 - c. Porque los científicos no se ponen de acuerdo
 - d. Porque nadie puede hacer todos los experimentos imaginables en todas las situaciones

Respuestas

1. **b)** Los enunciados que se aplican de forma más limitada suelen llamarse principios; el de Pascal solo vale en los fluidos.
2. **a)** Si un experimento no confirma una predicción, la teoría o la ley es errónea, por elegante o cómoda que sea.
3. **c)** Una hipótesis fallida es un resultado: tacha a un sospechoso, y se formula una nueva hipótesis y se vuelve a comprobar.
4. **d)** Como no pueden hacerse todos los experimentos, las leyes se tratan como válidas hasta que aparece un contraejemplo.

Ejemplos resueltos

El coche que no arranca Su coche no arranca. Recorra el método científico como lo hace el libro, comprobando la idea de que no tiene aceite en el motor.

Observación y pregunta: el coche no arranca, ¿por qué?

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

Hipótesis: quizá el coche no tiene aceite en el motor.

Experimento: abrir el capó y revisar el nivel de aceite.

Conclusión: el aceite está en un nivel correcto, así que no es la causa; formular una nueva hipótesis y repetir.

Respuesta: Se rechaza la hipótesis del aceite y la búsqueda pasa a la siguiente causa posible.

Ejercicios

1. Su teléfono no se conecta a internet. Describa cómo usaría el método científico para encontrar la causa, con al menos dos hipótesis.

Pista: Empiece con una pregunta, luego proponga una causa que pueda comprobar, pruébela y decida.

Respuesta: Pregunta: ¿por qué no se conecta? Primera hipótesis: la red de casa no funciona; compruébela en otro aparato. Si el otro aparato se conecta, se descarta. Segunda hipótesis: el wifi del teléfono está apagado; revise el ajuste. Cada prueba o encuentra la causa o elimina a un sospechoso.

2. Con sus palabras, explique qué aportó Ibn al-Haytham a la forma de hacer ciencia.

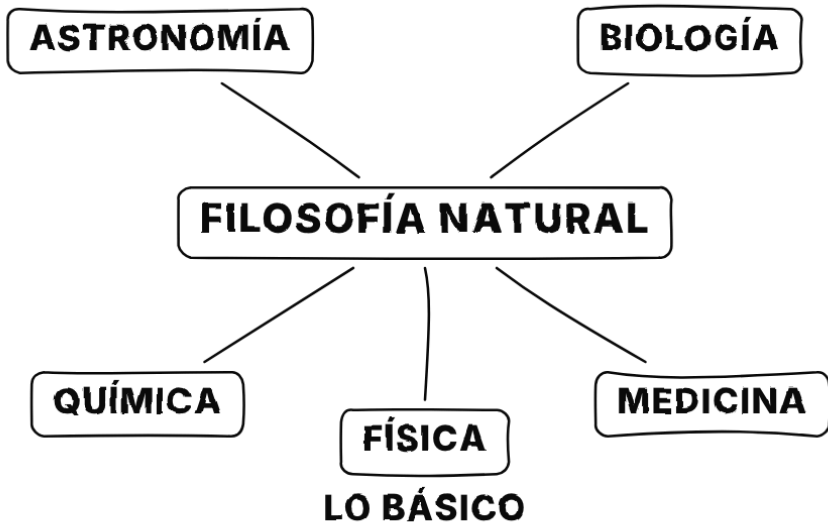
Pista: Piense en su actitud hacia lo que leía y hacia las pruebas.

Respuesta: Enseñó que un científico debe estar dispuesto a rechazar el saber aceptado y fiarse solo de pruebas objetivas, que los experimentos deben repetirse y los resultados comprobarse, y que nuestros sentidos y

expectativas pueden engañarnos. Eso lo convirtió en precursor del método científico.

Física antigua, física nueva

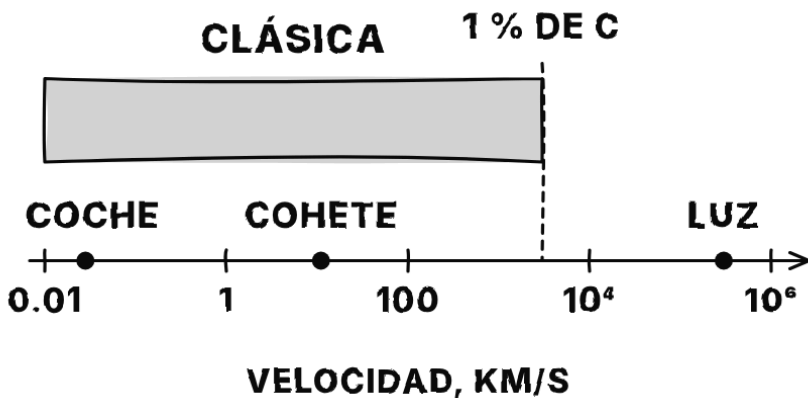
Lance una pelota de un lado a otro de la habitación y mire cómo baja en curva hasta su mano. Todo en ella parece evidente: se mueve a una velocidad suave, se ve con claridad y la gravedad de la Tierra la tira hacia abajo de una forma familiar. La física que describe esta pelota tiene siglos, y sigue funcionando de maravilla. Pero no es toda la verdad sobre el universo, y esta parte trata de dónde deja de funcionar y de por qué la seguimos aprendiendo primero.



La filosofía natural se divide

Empecemos por la historia. La física no siempre fue una materia propia, y todavía hoy está ligada a las demás ciencias. Su nombre viene de la palabra griega para naturaleza, y el estudio de la naturaleza se llamó durante mucho tiempo filosofía natural. Desde la Antigüedad hasta el Renacimiento, la filosofía natural abarcaba a la vez la astronomía, la biología, la química, la física, las matemáticas y la medicina. El filósofo griego Aristóteles, hace más de dos mil años, escribió sobre física, animales, el alma, la política y la poesía, todo como un solo estudio. Al crecer el conocimiento en los últimos siglos, la filosofía natural se dividió en campos cada vez más especializados, y la física se quedó con las partes más básicas. Las imágenes del libro nombran a algunas de las grandes mentes del camino: Ibn al-Haytham y Galileo Galilei, tan importantes para la práctica de la ciencia que un científico posterior los puso a ambos en la portada de su obra principal, y Niels Bohr, que ayudó a fundar la mecánica cuántica.

La física tal como creció desde el Renacimiento hasta finales del siglo diecinueve se llama física clásica. A principios del siglo veinte, descubrimientos revolucionarios la convirtieron en física moderna.



Dónde vale la física clásica

La física clásica no es una descripción exacta del universo, pero es una aproximación excelente cuando se cumplen tres condiciones. Las cosas deben moverse a menos de un uno por ciento, más o menos, de la velocidad de la luz. Deben ser lo bastante grandes como para verse con un microscopio. Y solo puede intervenir una gravedad débil, como la de la Tierra.

¿Qué rapidez es el uno por ciento de la velocidad de la luz? La luz recorre unos trescientos mil kilómetros cada segundo, y la centésima parte de eso son tres mil kilómetros por segundo. Su coche en la autopista, a unos cien kilómetros por hora, recorre menos de tres centésimas de kilómetro por segundo, unas cien mil veces por debajo

de ese límite. Así que la pelota lanzada, el coche e incluso un cohete viven cómodamente dentro de la física clásica.

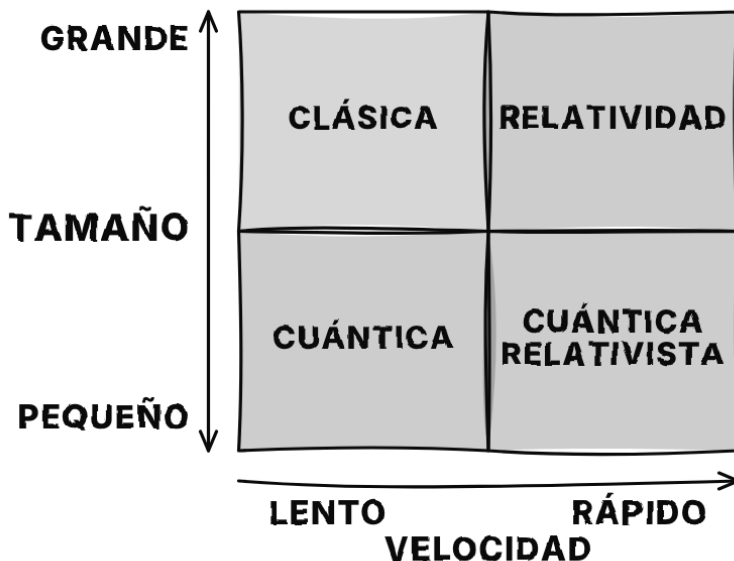
Por eso precisamente la física clásica parece sentido común. Vivimos entre velocidades lentas, cosas visibles y gravedad débil, así que la física clásica parece intuitivamente correcta, mientras que gran parte de la física moderna parece extraña. Aquí es donde los modelos se vuelven tan valiosos. Nos dejan imaginar lo que nunca vivimos: qué pasa a velocidades enormes, o cómo podrían ser cosas demasiado pequeñas para verlas. Podemos entender las propiedades de un átomo porque podemos imaginarlo, aunque nadie ha visto nunca un átomo a simple vista. También ayudan los nuevos instrumentos; un microscopio de efecto túnel muestra hoy los átomos individuales de una lámina de oro.

La física moderna ha traído algunos de los avances más espectaculares de la ciencia. Muchas leyes de la física clásica se han cambiado o abandonado, y con ellas han llegado revoluciones en la tecnología, en la sociedad y en nuestra imagen del universo. Como la ciencia ficción, la física moderna está llena de objetos extraños fuera de la experiencia diaria, pero, a diferencia de la ciencia ficción, son reales.

Entonces, ¿por qué la mayor parte del libro sigue enseñando física clásica? Por dos razones. Describe el universo con muchísima precisión en una amplia gama de situaciones cotidianas. Y hace falta para poder entender la física moderna. Dicho de otro modo, la física clásica es a la vez la herramienta de cada día y la planta baja sobre la que se construye la física más nueva.

La propia física moderna descansa en dos teorías revolucionarias: la relatividad, para lo muy rápido, y la mecánica cuántica, para lo muy

pequeño. La relatividad hace falta cuando algo se mueve a más de un uno por ciento, más o menos, de la velocidad de la luz, o sufre una gravedad fuerte, como cerca del Sol. La mecánica cuántica hace falta para cosas demasiado pequeñas para verlas con un microscopio. Unidas, forman la mecánica cuántica relativista, que se ocupa de cosas pequeñas que se mueven muy deprisa o sufren una gravedad fuerte. Es la mejor teoría que tenemos aplicable en todas partes, pero es matemáticamente tan exigente que solo se usa cuando hace falta; siempre que bastan teorías más sencillas, se usan esas. El libro añade una nota esperanzadora: gran parte de la física moderna todavía puede hacerse con álgebra y trigonometría corrientes.



Qué física para qué mundo

Fíjese en las palabras: la relatividad y la mecánica cuántica se llaman teorías, no leyes. El libro cierra la sección con un pequeño acertijo justamente sobre eso. Un amigo le dice que ha aprendido una nueva ley de la naturaleza. Incluso antes de oírla, usted ya sabe algo: será una descripción concisa del universo, el enunciado de una regla que siguen los procesos naturales. Si su amigo hubiera aprendido una teoría, sabría que es una explicación amplia y de gran alcance. Dicho de otro modo, una ley es breve y dice qué ocurre; una teoría es amplia y explica toda una gama de cosas.

Para recordar

La física surgió de la filosofía natural, que en su día incluía todas las ciencias, y se quedó con las partes más básicas al separarse los campos. La física clásica funciona bien para velocidades por debajo de un uno por ciento, más o menos, de la velocidad de la luz, para cosas visibles al microscopio y para gravedad débil. El uno por ciento de la velocidad de la luz son unos tres mil kilómetros por segundo, muy por encima de todo lo que hay en la vida diaria. La física moderna descansa en la relatividad para lo muy rápido y en la mecánica cuántica para lo muy pequeño; combinadas, forman la mecánica cuántica relativista. La física clásica se sigue enseñando primero porque es muy precisa para la vida diaria y hace falta para entender la física moderna.

Preguntas

1. Una nave espacial se mueve a una décima parte de la velocidad de la luz. ¿Qué teoría hace falta para describir su movimiento?
 - a. La física clásica
 - b. La relatividad
 - c. La mecánica cuántica
 - d. La filosofía natural

2. ¿Por qué la física clásica parece sentido común?
 - a. Porque vivimos entre velocidades lentas, cosas visibles y gravedad débil, donde funciona
 - b. Porque es la física más antigua
 - c. Porque es una descripción exacta de la naturaleza
 - d. Porque se ha abandonado la física moderna

3. ¿Por qué no se usa la mecánica cuántica relativista para todos los problemas, aunque sea la mejor teoría general?
 - a. Porque ha sido refutada
 - b. Porque solo se aplica al Sol
 - c. Porque es matemáticamente tan exigente que se usan teorías más sencillas cuando son lo bastante precisas
 - d. Porque solo abarca objetos lentos

4. Un amigo dice que ha aprendido una teoría nueva, no una ley. ¿Qué puede esperar?
 - a. Un enunciado breve de una sola regla
 - b. Una conjetura sin comprobar
 - c. Una lista de mediciones
 - d. Una explicación amplia y de gran alcance

Respuestas

1. **b)** La relatividad hace falta cuando algo se mueve a más de un uno por ciento, más o menos, de la velocidad de la luz.
2. **a)** Vivimos donde se cumplen las tres condiciones de la física clásica, así que parece intuitivamente correcta.
3. **c)** Solo se usa cuando hace falta; siempre que bastan teorías más sencillas, se usan esas.
4. **d)** Una teoría es una explicación amplia y de gran alcance, mientras que una ley es el enunciado conciso de una regla.

Ejemplos resueltos

El uno por ciento de la velocidad de la luz La luz recorre unos 300 000 kilómetros cada segundo. ¿Por debajo de qué velocidad funciona bien la física clásica, y cómo se compara un coche a 100 kilómetros por hora?

La física clásica necesita velocidades por debajo de un uno por ciento, una centésima, de la velocidad de la luz.

Una centésima de 300 000 kilómetros por segundo son 3000 kilómetros por segundo.

Un coche a 100 kilómetros por hora recorre 100 kilómetros en 3600 segundos, unos 0,028 kilómetros por segundo.

3000 entre unos 0,028 da aproximadamente 100 000, así que el coche está unas cien mil veces por debajo del límite.

Respuesta: Unos 3000 kilómetros por segundo; el coche es unas 100 000 veces más lento

Ejercicios

1. Un cohete sale de la Tierra a unos 11 kilómetros por segundo. ¿Está por debajo del límite clásico de unos 3000 kilómetros por segundo? ¿Aproximadamente cuántas veces?

Pista: Divida 3000 entre 11.

Respuesta: Sí, unas 270 veces: 3000 entre 11 es unos 273, así que la física clásica lo describe bien.

2. Para cada caso, diga si hace falta física clásica, relatividad o mecánica cuántica: un electrón dentro de un átomo; un planeta que gira alrededor del Sol a velocidad corriente; la luz que pasa muy cerca del Sol.

Pista: Revise las tres condiciones: velocidad, tamaño e intensidad de la gravedad.

Respuesta: El electrón necesita mecánica cuántica, porque es demasiado pequeño para verlo con un microscopio. El planeta lo describe bien la física clásica. La luz cerca del Sol implica tanto la velocidad de la luz como una gravedad fuerte, así que hace falta la relatividad.

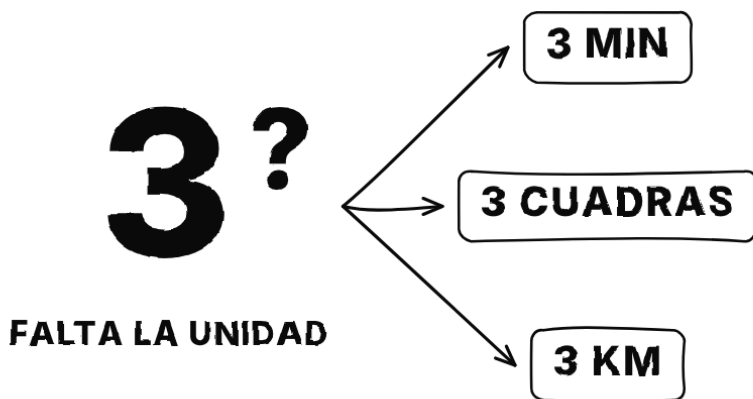
3. Dé las dos razones que ofrece el libro para enseñar sobre todo física clásica.

Pista: Una tiene que ver con la vida diaria y otra con la física moderna.

Respuesta: La física clásica describe el universo con muchísima precisión en una amplia gama de situaciones cotidianas, y hace falta para entender la física moderna.

Los números necesitan unidades

Un amigo le escribe: «La farmacia está a tres». ¿A tres qué: tres minutos, tres manzanas, tres kilómetros? El número por sí solo no le dice nada. El libro dice lo mismo con una imagen cuyo pie, de forma estupenda, afirma: «Las distancias dadas en unidades desconocidas son exasperantemente inútiles».



¿Tres qué?

La física abarca una gama asombrosa. Trata de la vida increíblemente corta de un núcleo atómico y de la edad de la Tierra, de partículas más pequeñas que un núcleo y de la distancia al borde del universo

conocido, del empujón de una pulga que salta y de la atracción entre la Tierra y el Sol. El libro abre la sección con una imagen de la Tierra y la Luna, y señala que esa distancia, por enorme que parezca, es una fracción minúscula de las distancias a otros cuerpos del cielo. Describir estas cosas con números, y con ecuaciones los principios que hay detrás, nos permite entender la naturaleza mucho más a fondo que solo con palabras. Pero para manejar esas gamas necesitamos unidades acordadas.

¿Cómo se define, para empezar, una magnitud como la longitud o la velocidad? De una de dos maneras. Algunas magnitudes se definen diciendo cómo medirlas: así son la distancia y el tiempo. Otras se definen diciendo cómo calcularlas a partir de otras mediciones. El ejemplo del libro es la velocidad media: la distancia recorrida dividida entre el tiempo empleado. Si el ordenador de a bordo de su coche marca ciento veinte kilómetros recorridos en hora y media, su velocidad media fue ciento veinte entre uno y medio, es decir, ochenta kilómetros por hora.

$$v = \frac{d}{t}$$

VELOCIDAD = DISTANCIA ÷ TIEMPO

$$\frac{120 \text{ km}}{1.5 \text{ h}} = 80 \text{ km/h}$$



La velocidad media, calculada

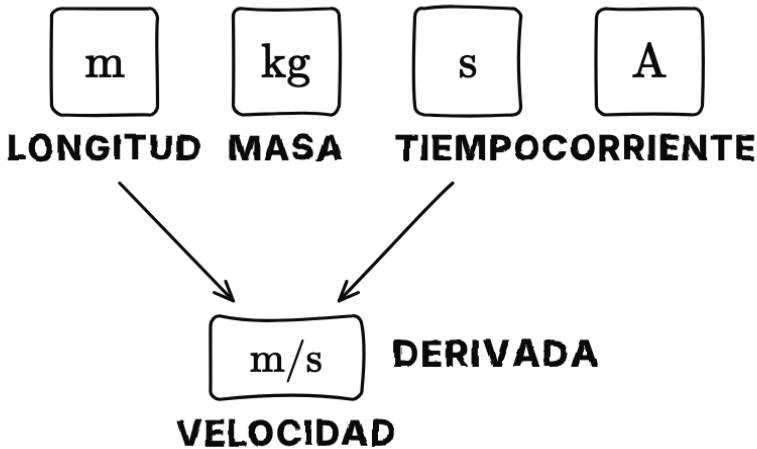
Toda medición se da en unidades, que son cantidades estándar acordadas. La longitud de una carrera, por ejemplo, se da en metros para los velocistas y en kilómetros para los corredores de fondo. Sin estos patrones, los científicos no podrían comunicar ni comparar sus resultados de forma significativa.

Se usan dos grandes sistemas de unidades. Uno es el Sistema Internacional, conocido por sus siglas francesas SI, también llamado sistema métrico. El otro es el sistema de unidades inglesas, también llamadas unidades habituales o imperiales, usado históricamente en tierras que gobernó el Imperio británico y todavía común en Estados Unidos. Casi todos los demás países usan el sistema métrico, que es el patrón acordado por científicos y matemáticos. Por eso un gramo en

su báscula de cocina y un miligramo en la etiqueta de un medicamento significan lo mismo en cualquier parte del mundo.

Ahora viene lo sorprendente. Algunas magnitudes son más básicas que otras. Las más básicas solo pueden definirse por el procedimiento con que se miden, y sus unidades se llaman unidades fundamentales. Este libro toma cuatro magnitudes como fundamentales: la longitud, medida en metros; la masa, en kilogramos; el tiempo, en segundos; y la corriente eléctrica, en amperios, que llegará mucho más adelante. Cualquier otra magnitud, como la fuerza o la carga eléctrica, puede construirse a partir de estas cuatro multiplicando y dividiendo, y su unidad se llama unidad derivada. La velocidad, por ejemplo, es una longitud dividida entre un tiempo, así que su unidad, metros por segundo, es derivada. Dicho de otro modo, bastan cuatro piezas para montar casi todas las mediciones de la física, otra señal de la sencillez de fondo de la naturaleza.

FUNDAMENTAL



Cuatro piezas básicas

El libro añade una nota práctica. En algunos lugares usa unidades ajenas al sistema métrico porque son muy comunes, como los milímetros de mercurio para la presión arterial. Siempre que lo hace, las relaciona con las unidades métricas mediante una conversión.

Para recordar

Un número sin unidad es inútil; las unidades acordadas permiten a los científicos comunicar y comparar mediciones. Una magnitud se define o por cómo se mide, como la distancia y el tiempo, o por cómo se calcula, como la velocidad media, distancia entre tiempo. El sistema métrico, o SI, es el patrón de los científicos y de la mayor parte del mundo; las unidades inglesas sobreviven sobre todo en Estados Unidos. Las cuatro magnitudes fundamentales de este libro son la longitud, la masa, el tiempo y la corriente eléctrica, medidas en metros, kilogramos, segundos y amperios. Todas las demás magnitudes, como la velocidad y la fuerza, son combinaciones de estas, y sus unidades se llaman unidades derivadas.

Preguntas

1. ¿Cómo se define la velocidad media, a diferencia de la distancia y el tiempo?
 - a. Por un procedimiento de medida, como una regla o un reloj
 - b. Por un cálculo: la distancia recorrida dividida entre el tiempo empleado
 - c. Como una de las cuatro magnitudes fundamentales
 - d. Solo por su unidad
2. ¿Qué lista da las cuatro magnitudes fundamentales que usa este libro?

- a. Longitud, masa, tiempo y corriente eléctrica
 - b. Longitud, velocidad, fuerza y tiempo
 - c. Masa, peso, volumen y temperatura
 - d. Metro, kilogramo, segundo y newton
3. ¿Por qué la unidad de velocidad, metros por segundo, se llama unidad derivada?
- a. Porque la velocidad se mide con un velocímetro
 - b. Porque solo se usa en ciencia
 - c. Porque se construye a partir de unidades fundamentales, una longitud dividida entre un tiempo
 - d. Porque se inventó más tarde
4. ¿Por qué son esenciales para los científicos las unidades acordadas?
- a. Porque hacen más pequeños los números
 - b. Porque sustituyen a los experimentos
 - c. Porque cada país necesita las suyas
 - d. Porque sin ellas los resultados no podrían comunicarse ni compararse de forma significativa

Respuestas

- 1. b)** La distancia y el tiempo se definen por cómo medirlos; la velocidad media, por cómo calcularla a partir de ellos.
- 2. a)** El libro toma como fundamentales la longitud, la masa, el tiempo y la corriente eléctrica.
- 3. c)** La velocidad es una longitud dividida entre un tiempo, así que su unidad se construye con unidades fundamentales.

4. d) Sin unidades estándar, los científicos no podrían comunicar ni comparar sus resultados de forma significativa.

Ejemplos resueltos

Velocidad media según el ordenador de a bordo Un coche recorre 120 kilómetros en hora y media. ¿Cuál es su velocidad media?

La velocidad media es la distancia recorrida dividida entre el tiempo empleado.

La distancia es de 120 kilómetros y el tiempo, de 1,5 horas.

120 entre 1,5 es 80.

Respuesta: 80 kilómetros por hora

Ejercicios

1. Un corredor recorre 400 metros en 80 segundos. ¿Cuál es su velocidad media, y su unidad es fundamental o derivada?

Pista: Divida la distancia entre el tiempo; luego pregúntese de qué está hecha la unidad.

Respuesta: 5 metros por segundo: 400 entre 80. La unidad es derivada, porque es una longitud dividida entre un tiempo.

2. Clasifique estas magnitudes en fundamentales y derivadas como hace el libro: tiempo, velocidad, masa, fuerza, corriente eléctrica.

Pista: El libro nombra exactamente cuatro magnitudes fundamentales.

Respuesta: Fundamentales: tiempo, masa y corriente eléctrica (con la longitud, la cuarta). Derivadas: velocidad y fuerza, que se construyen con las fundamentales.

Un segundo, un metro, un kilogramo

Imagine que compra un kilo de manzanas en dos tiendas y descubre que el kilo de una tienda pesa un poco más que el de la otra. O dos reglas que no se ponen de acuerdo en cuánto mide un metro. Todo lo que medimos se vendría abajo en silencio. Por eso el libro dedica tiempo a cómo se fijan las propias unidades básicas y a cómo han cambiado esas definiciones.



$$24 \times 60 \times 60 = 86\,400$$



SE FRENA



CESIO



$$9\,192\,631\,770$$

$$= 1 \text{ s}$$

Del día al cesio

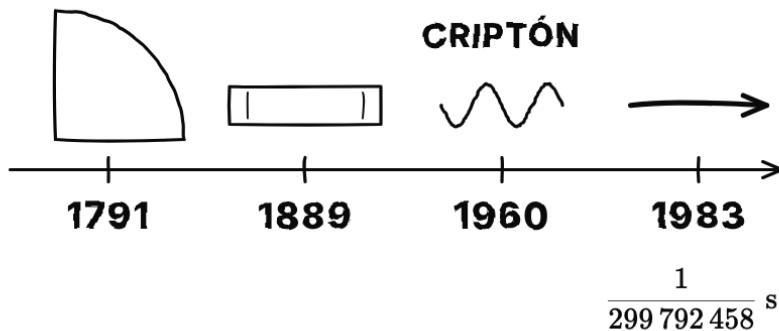
Empecemos por el tiempo. Durante muchos años, el segundo se definió como una parte entre ochenta y seis mil cuatrocientas de un

día medio. El número sale directamente del reloj: veinticuatro horas, por sesenta minutos, por sesenta segundos, dan ochenta y seis mil cuatrocientos segundos en un día. Pero el giro de la Tierra se frena muy poco a poco, así que el día se alarga lentamente, y un segundo ligado a él también cambiaría lentamente. Así que los científicos recurrieron a algo que no cambia. Los átomos de cesio pueden hacerse vibrar de una forma extremadamente regular, y sus vibraciones pueden contarse. Desde 1967, un segundo es el tiempo que tardan en producirse algo más de nueve mil ciento noventa y dos millones de estas vibraciones. Los relojes atómicos basados en esto marcan la hora con un error menor de una millonésima de segundo al año. La hora de su teléfono se ajusta regularmente a partir de señales que remontan a esos relojes atómicos.

Después, la longitud. En 1791 el metro se definió como la diezmillonésima parte de la distancia del ecuador al polo norte. En 1889 pasó a ser la distancia entre dos finas líneas grabadas en una barra de platino e iridio guardada cerca de París. Hacia 1960 pudo fijarse con más precisión mediante la luz, como cierto número de longitudes de onda de la luz anaranjada que emiten los átomos de criptón. Desde 1983, el metro es la distancia que recorre la luz en el vacío en una doscientos noventa y nueve millones setecientas noventa y dos mil cuatrocientas cincuenta y ochoava parte de segundo. Esa elección hace que la velocidad de la luz sea exactamente esa cantidad de metros por segundo, por definición. Un pie de foto del libro añade el razonamiento: la distancia recorrida es la velocidad multiplicada por el tiempo. La luz recorre casi trescientos mil kilómetros en un segundo, así que en esa diminuta fracción de segundo recorre exactamente un metro. Así que una medición mejor ya no puede

cambiar ese número; solo permite a los laboratorios marcar el metro con más precisión.

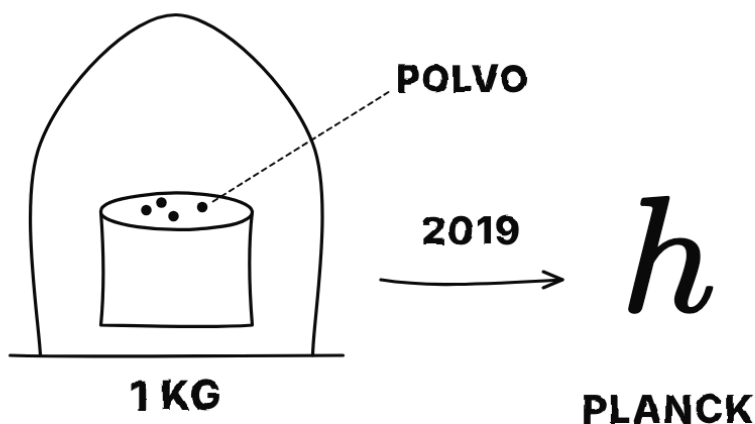
EL METRO



Cuatro definiciones del metro

Luego, la masa. Durante mucho tiempo, el kilogramo fue simplemente la masa de un cilindro concreto de platino e iridio, guardado junto a la antigua barra del metro cerca de París, con copias exactas en otros lugares, entre ellos el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, en Maryland. Cualquier otra masa del mundo podía remontarse, al final, a una comparación con ese cilindro. Pero aunque el metal resistía la corrosión, diminutas partículas del aire se pegaban a su superficie y cambiaban poco a poco su masa. Así que en mayo de 2019 los científicos adoptaron una definición más estable, que liga el kilogramo al segundo, al metro y a

una constante de la física cuántica llamada constante de Planck, que relaciona la energía de una partícula de luz con su frecuencia. El kilogramo de su báscula de cocina descansa ahora, a través de una larga cadena de comparaciones, sobre esa constante invariable y no sobre un trozo de metal.



El kilogramo deja su cilindro

¿Por qué tanto cuidado? Porque toda medición se expresa al final en unidades fundamentales, y ninguna medición puede ser más precisa que esas unidades. Dicho de otro modo, una regla solo es tan buena como el metro que copia, y un reloj, tan bueno como el segundo que cuenta. La cuarta unidad fundamental, el amperio para la corriente eléctrica, llegará mucho más adelante, con la electricidad y el

magnetismo. Para la mecánica, los fluidos, el calor y las ondas, que el libro trata primero, basta con la longitud, la masa y el tiempo.

Para recordar

El segundo fue una vez una fracción del día, pero el día se alarga poco a poco; desde 1967 es un número fijo de vibraciones del cesio. El metro ha pasado de ser una fracción de la Tierra a una barra grabada y a la distancia que recorre la luz en una fracción de segundo diminuta y exacta. Esa definición hace que la velocidad de la luz sea exactamente de doscientos noventa y nueve millones setecientos noventa y dos mil cuatrocientos cincuenta y ocho metros por segundo. El kilogramo, antes un cilindro de metal que acumulaba suciedad lentamente, está ligado desde 2019 al segundo, al metro y a la constante de Planck. Toda medición se apoya en estas unidades, así que no puede ser más precisa que ellas.

Preguntas

1. ¿Por qué se sustituyó en 2019 el antiguo kilogramo de metal?
 - a. Lo robaron
 - b. Diminutas partículas del aire se le pegaban y cambiaban poco a poco su masa
 - c. La corrosión lo destruyó
 - d. Era demasiado grande para copiarlo

2. Como la velocidad de la luz está fijada por definición, ¿qué cambiaría una medición más precisa de ella?
 - a. La longitud del metro
 - b. El número 299 792 458
 - c. Solo la precisión con que los laboratorios pueden marcar un metro
 - d. La masa del kilogramo
3. ¿Por qué importan las definiciones de las unidades fundamentales para toda medición?
 - a. Porque están escritas en francés
 - b. Porque solo se usan en laboratorios
 - c. Porque toda medición se expresa en ellas y no puede ser más precisa que ellas
 - d. Porque cambian cada año
4. ¿Qué magnitudes fundamentales bastan para la mecánica, los fluidos, el calor y las ondas?
 - a. Longitud, masa, tiempo y corriente eléctrica
 - b. Solo el tiempo
 - c. Longitud y corriente eléctrica
 - d. Longitud, masa y tiempo

Respuestas

1. **b)** Aunque resistía la corrosión, las partículas del aire se posaban en su superficie y cambiaban poco a poco su masa.
2. **c)** El número es exacto por definición y el metro se define a partir de él; una medición mejor solo mejora la precisión con que puede realizarse un

metro.

3. c) Una regla solo es tan buena como el metro que copia, y un reloj, tan bueno como el segundo que cuenta.

4. d) La corriente eléctrica llega más tarde; para los primeros temas basta con la longitud, la masa y el tiempo.

Ejemplos resueltos

Cuánto avanza la luz en un instante La luz recorre casi 300 000 kilómetros en un segundo. ¿Aproximadamente qué distancia recorre en una milésima de segundo?

La distancia recorrida es la velocidad multiplicada por el tiempo.

En un segundo, la luz recorre unos 300 000 kilómetros.

En una milésima de segundo recorre la milésima parte de eso.

300 000 entre 1000 es 300.

Respuesta: unos 300 kilómetros

Ejercicios

1. En 1791 el metro era la diezmillonésima parte de la distancia del ecuador al polo norte. ¿Cuántos kilómetros mide esa distancia según esta definición?

Pista: Diez millones de metros; un kilómetro son mil metros.

Respuesta: 10 000 kilómetros: diez millones de metros entre mil.

2. ¿Cuántos segundos tiene un día, y por qué la antigua definición del segundo se volvió poco fiable con el tiempo?

Pista: Multiplique horas, minutos y segundos; luego piense en el giro de la Tierra.

Respuesta: 86 400 segundos: 24 por 60 por 60. Como el giro de la Tierra se frena poco a poco, el día se alarga, así que un segundo definido como fracción del día cambiaría lentamente.

Potencias de diez

Mire la etiqueta de una caja de medicamentos: la dosis puede decir doscientos cincuenta miligramos. Mire el mapa de su teléfono: el siguiente pueblo está a doce kilómetros. Mili, kilo: estas piezas que van delante, llamadas prefijos, hacen en silencio muchísimo trabajo. Cada una dice «multiplique por cierta potencia de diez», y ese es todo el secreto del sistema métrico.

MÉTRICO

km

×1000

m

×100

cm

×10

mm

HABITUAL

mi

×5280

ft

×12

in

Pasos de diez frente a pasos raros

El sistema métrico, del que forman parte las unidades internacionales, es cómodo para la ciencia y la ingeniería porque sus

unidades se agrupan por factores de diez. Pasar de una unidad a otra solo significa moverse por potencias de diez. Hay cien centímetros en un metro y mil metros en un kilómetro. Compárelo con las unidades habituales que aún se usan en Estados Unidos: doce pulgadas en un pie, cinco mil doscientos ochenta pies en una milla. Esos números raros convierten cada conversión en una pequeña tarea pesada.

Pruébalo

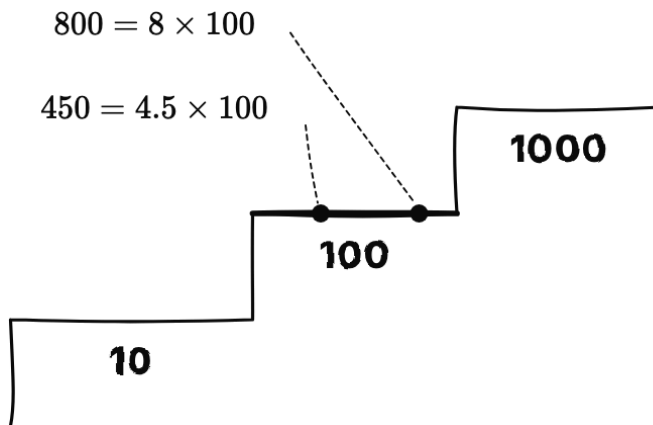
Tome una regla marcada en centímetros y milímetros. Cuente los pequeños espacios de un milímetro entre dos marcas de centímetro: hay diez. Ahora imagine una vara de un metro: cien centímetros, o mil milímetros. Cada paso es un factor de diez, así que convertir es solo cuestión de mover la coma decimal.

La segunda ventaja es que una sola unidad se estira sobre gamas enormes con solo cambiar su prefijo. Los metros sirven para una obra, los kilómetros para los viajes en avión, y el diminuto nanómetro para diseñar lentes y aparatos ópticos. Con el sistema métrico no hace falta inventar una unidad nueva para cada tarea.

La tabla del libro enumera los prefijos de lo muy grande a lo muy pequeño, cada uno con un ejemplo. Kilo significa mil, y un kilómetro es unas seis décimas de milla. Mega significa un millón; giga, mil millones, y un gigahercio es una frecuencia típica de microondas. Bajando, centi significa una centésima, y un centímetro es más o menos el grosor de la yema de un dedo. Mili significa una milésima, y un milímetro es la altura de una pulga a la altura de los hombros. Micro significa una millonésima, nano una milmillonésima, y un femtómetro, una milbillonésima de metro, es más o menos el tamaño

de un protón. En los extremos están exa, un uno seguido de dieciocho ceros, donde un exámetro es aproximadamente la distancia que recorre la luz en un siglo, y atto, su diminuta imagen especular, donde un attosegundo es más o menos el tiempo que tarda la luz en cruzar un átomo. Los doscientos cincuenta miligramos de la etiqueta del medicamento son un cuarto de gramo, y los doce kilómetros de su mapa son doce mil metros.

Las potencias de diez también permiten juzgar la escala de un número, llamada su orden de magnitud. Todo número puede escribirse como algún número por una potencia de diez, y esa potencia indica su orden de magnitud. Ochocientos es ocho por diez por diez, es decir, ocho por cien. Cuatrocientos cincuenta es cuatro y medio por cien. Los dos están en el peldaño de «las centenas» de la escalera, así que comparten el mismo orden de magnitud. Dicho de otro modo, el orden de magnitud es una estimación aproximada: le dice en qué peldaño está, no exactamente en qué punto del peldaño.



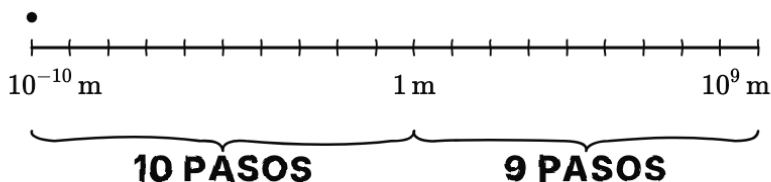
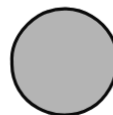
Mismo peldaño, mismo orden

Esta es una comparación llamativa del libro. Un átomo mide aproximadamente una diezmilmillonésima de metro: un uno dividido entre diez, diez veces seguidas. El Sol mide unos mil millones de metros de ancho: un uno seguido de nueve ceros. ¿Cuántos pasos de diez los separan? Diez pasos le llevan del átomo a un metro, y nueve más hasta el Sol, así que diecinueve pasos en total. El Sol es unos diez trillones de veces más ancho que un átomo, un número que solo podemos abarcar contando los pasos.

19 PASOS

ÁTOMO

SOL



Diecinueve pasos del átomo al Sol

El libro termina la sección con una nota sobre hacia dónde va la medición. Como la materia está hecha de átomos, a los físicos les gustaría basar las unidades en cosas diminutas e invariables de la naturaleza. Para el tiempo ya está hecho: el segundo se basa en las vibraciones del átomo de cesio. La longitud estuvo ligada una vez a la longitud de onda de la luz de cierto átomo, pero desde entonces ha pasado a la aún más precisa velocidad de la luz. Si la masa de los átomos, o la de una esfera cuidadosamente fabricada de átomos de silicio, puede medirse con más precisión que el patrón del kilogramo, quizá algún día la masa también se base en la escala de lo pequeño. Y algún día una unidad de carga eléctrica podría basarse en las cargas de electrones y protones, aunque por ahora la corriente y la carga están ligadas a corrientes grandes y a las fuerzas entre cables.

Para recordar

Cada prefijo métrico significa una potencia de diez: kilo mil, mili una milésima, micro una millonésima, y así sucesivamente. Eso hace sencillas las conversiones métricas, a diferencia de doce pulgadas en un pie o cinco mil doscientos ochenta pies en una milla. El orden de magnitud de un número es la potencia de diez que fija su escala; ochocientos y cuatrocientos cincuenta comparten el mismo, las centenas. Un átomo y el Sol difieren en tamaño en unas diecinueve potencias de diez. Los físicos esperan basar todas las unidades en cosas diminutas e invariables; el segundo ya se basa en el átomo de cesio.

Preguntas

1. ¿Por qué las conversiones son más fáciles en el sistema métrico que en las unidades habituales de EE. UU.?
 - a. Porque las unidades métricas son más pequeñas
 - b. Porque cada paso métrico es una potencia de diez
 - c. Porque las unidades métricas son más nuevas
 - d. Porque las unidades habituales no pueden convertirse
2. ¿Por qué ochocientos y cuatrocientos cincuenta tienen el mismo orden de magnitud?
 - a. Porque los dos son algo por cien, en el mismo peldaño de la escalera de dieces
 - b. Porque los dos son pares

- c. Porque los dos son menores que mil y terminan en cero
 - d. Porque su diferencia es pequeña
3. Un átomo mide aproximadamente una diezmilmillonésima de metro y el Sol unos mil millones de metros. ¿Cuántas potencias de diez los separan?
- a. Nueve
 - b. Diez
 - c. Diecinueve
 - d. Noventa
4. ¿Qué unidad básica se basa ya en algo diminuto e invariable de la naturaleza?
- a. El kilogramo, en una esfera de silicio
 - b. El amperio, en los electrones
 - c. El metro, en una barra de metal
 - d. El segundo, en el átomo de cesio

Respuestas

1. **b)** Las unidades métricas se agrupan por factores de diez, mientras que las habituales usan pasos como doce y cinco mil doscientos ochenta.
2. **a)** Ochocientos es ocho por cien y cuatrocientos cincuenta es cuatro y medio por cien; los dos están en el peldaño de las centenas.
3. **c)** Diez pasos le llevan del átomo a un metro y nueve más hasta el Sol, diecinueve en total.
4. **d)** Para el tiempo ya está hecho: el segundo se basa en las vibraciones del átomo de cesio.

Ejemplos resueltos

Del átomo al Sol en pasos de diez Un átomo mide aproximadamente una diezmilmillonésima de metro (diez a la menos diez metros) y el Sol unos mil millones de metros (diez a la nueve). ¿Cuántos órdenes de magnitud los separan?

Cada orden de magnitud es un paso de diez.

Del átomo a un metro hay diez pasos de diez.

De un metro a mil millones de metros hay nueve más.

Diez más nueve son diecinueve.

Respuesta: diecinueve órdenes de magnitud

Ejercicios

1. ¿Cuántos gramos son una dosis de doscientos cincuenta miligramos?

Pista: Mili significa una milésima, así que divide entre mil.

Respuesta: Un cuarto de gramo, 0,25 gramos: doscientos cincuenta entre mil.

2. Un pueblo está a doce kilómetros. ¿Cuántos metros son, y cuántos centímetros?

Pista: Kilo significa mil; un metro tiene cien centímetros.

Respuesta: Doce mil metros, y un millón doscientos mil centímetros: doce por mil, y luego por cien.

3. ¿Tienen treinta y setenta el mismo orden de magnitud? ¿Y treinta y trescientos?

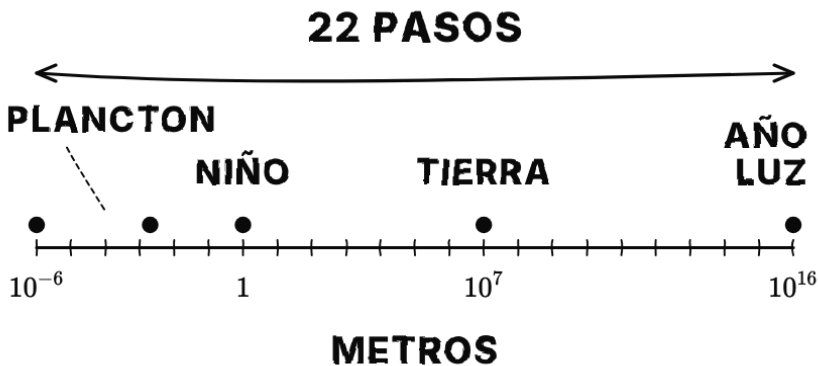
Pista: Escriba cada uno como un número por una potencia de diez.

Respuesta: Treinta y setenta están ambos en el peldaño de las decenas, así que sí. Trescientos está en el de las centenas, un orden de magnitud

por encima de treinta.

Del plancton a las galaxias, y de vuelta a los kilómetros

Imagine dos fotografías una junto a otra. En una, diminutas criaturas llamadas fitoplancton flotan entre cristales de hielo en el mar antártico; las mayores miden unos dos milímetros y las más pequeñas solo unas milésimas de milímetro. En la otra chocan dos cúmulos de galaxias, tan lejanos que su luz tardó dos mil cuatrocientos millones de años en llegarnos. La física se ocupa de ambas cosas y de todo lo que hay en medio, y el libro usa estas imágenes para que sienta lo amplia que es esa gama.



Para dar una idea, el libro tiene una tabla de longitudes, masas y tiempos conocidos, cada uno expresado como una potencia de diez. En el lado pequeño, el detalle más fino que podemos observar hoy es de una milmillonésima de milmillonésima de metro, la masa de un electrón tiene treinta ceros tras la coma antes de su primera cifra, y la luz cruza un protón en una cienmilésima de milmillonésima de milmillonésima de segundo, aproximadamente. En el medio están las cosas conocidas: una persona tiene una masa de unos cien kilos con el redondeo de la tabla, un coche unos mil, un latido dura alrededor de un segundo y un niño de cuatro años mide cerca de un metro. En el lado grande, la Tierra mide unos diez millones de metros de ancho, la luz recorre unos diez mil billones de metros en un año, y el borde del universo conocido está a unos cien cuatrillones de metros, un uno seguido de veintiséis ceros. Dicho de otro modo, los números de la física se extienden sobre decenas de potencias de diez, y solo con mirar la tabla uno se hace una idea de la gama de temas que vienen.

Con una gama así, necesitamos pasar constantemente de una unidad a otra. Quizá siga una receta de un libro de cocina europeo que mide la leche en litros mientras su jarra medidora está marcada en tazas. O unas indicaciones a pie pueden dar las distancias en pies cuando usted quiere saber cuántas millas va a caminar. El libro muestra una forma sencilla y fiable de hacer cualquier conversión de este tipo.

tengo: m

quiero: km

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

Las unidades se cancelan como números

Tomemos el ejemplo sencillo de pasar ochenta metros a kilómetros. Primero, escriba la unidad que tiene, metros, y la que quiere, kilómetros. Después, busque un factor de conversión: una razón que dice cuántas unidades de una clase equivalen a otra. Algunos conocidos son doce pulgadas en un pie, cien centímetros en un metro, sesenta segundos en un minuto; aquí, mil metros en un kilómetro. Luego multiplique lo que tiene por esa razón, escrita de forma que la unidad no deseada se cancele. Ochenta metros por un kilómetro cada mil metros: los metros de arriba y los de abajo se cancelan entre sí, igual que se cancelan números iguales en una fracción, y lo que queda son kilómetros. Ochenta entre mil son ocho centésimas, así que ochenta metros son cero coma cero ochenta kilómetros.

Pruébalo

Escriba «ochenta metros» en un trozo de papel. Al lado escriba la fracción «un kilómetro entre mil metros». Tache la palabra «metros» encima y debajo de la línea. Solo quedan «kilómetros», y la cuenta, ochenta entre mil, le dice cuántos.

¿Por qué funciona? Porque la razón entre un kilómetro y mil metros es en realidad uno: arriba y abajo hay la misma longitud. Multiplicar por uno nunca cambia una cantidad; solo cambia la forma de escribirla. Y la comprobación viene incluida: si las unidades no se cancelan como usted quiere, ha planteado mal la razón. El mismo método sirve para cualquier unidad, y el libro remite a un apéndice con una larga lista de factores de conversión. Es exactamente lo que hace por usted, entre bastidores, la aplicación conversora de unidades del teléfono.

El libro empieza entonces un ejemplo resuelto. Usted recorre en coche los diez kilómetros de la escuela a casa en veinte minutos. ¿Cuál fue su velocidad media, primero en kilómetros por hora y luego en metros por segundo? El plan es calcular la velocidad en las unidades dadas y luego convertirla eligiendo el factor de conversión que cancele la unidad no deseada y deje la deseada. La velocidad media, recuerda el libro, es la distancia recorrida dividida entre el tiempo empleado. Diez kilómetros entre veinte minutos dan medio kilómetro por minuto. Es una velocidad perfectamente válida, pero en una unidad incómoda, y pasar los minutos a horas es el siguiente paso.



20 min

$$v = \frac{d}{t}$$

$$\frac{10 \text{ km}}{20 \text{ min}} = 0.5 \text{ km/min} \rightarrow \text{LUEGO: HORAS}$$

Diez kilómetros en veinte minutos

Para recordar

La física abarca decenas de potencias de diez, desde el detalle observable más fino hasta el borde del universo conocido, como muestra la tabla del libro. Un factor de conversión es una razón entre cantidades iguales en unidades distintas, como mil metros en un kilómetro. Multiplique por el factor de modo que se cancele la unidad no deseada: ochenta metros por un kilómetro cada mil metros dan cero coma cero ochenta kilómetros. El factor vale en realidad uno, así que la cantidad sigue igual; solo cambia su unidad. Recorrer diez kilómetros en veinte minutos es una velocidad media de medio kilómetro por minuto.

Preguntas

1. ¿Por qué multiplicar por un factor de conversión no cambia la cantidad que se convierte?
 - a. Porque el factor siempre es muy pequeño
 - b. Porque arriba y abajo del factor hay cantidades iguales, así que vale uno
 - c. Porque se ignoran las unidades
 - d. Porque los factores de conversión solo cambian el número, no la unidad
2. ¿Cómo se sabe que un factor de conversión está mal planteado?
 - a. Las unidades no se cancelan como usted quiere
 - b. El resultado es un número entero
 - c. El resultado es menor que el número de partida
 - d. El factor contiene un mil
3. Recorrer diez kilómetros en veinte minutos da, en las unidades dadas, ¿qué velocidad media?
 - a. Dos kilómetros por minuto
 - b. Veinte kilómetros por hora
 - c. Medio kilómetro por minuto
 - d. Treinta kilómetros por minuto
4. ¿Qué muestra la tabla de longitudes, masas y tiempos del libro?
 - a. Que la mayoría de las magnitudes valen alrededor de uno
 - b. Que la física solo trata de cosas grandes

- c. Que las masas siempre son mayores que las longitudes
- d. Que las magnitudes físicas se extienden sobre decenas de potencias de diez

Respuestas

- 1. **b)** Un kilómetro y mil metros son la misma longitud, así que la razón vale uno; multiplicar por uno solo cambia cómo se escribe la cantidad.
- 2. **a)** La comprobación viene incluida: si las unidades no se cancelan como se pretende, la razón está mal planteada.
- 3. **c)** La velocidad media es la distancia dividida entre el tiempo: diez entre veinte es medio kilómetro por minuto.
- 4. **d)** Desde el detalle observable más fino hasta el borde del universo, los números abarcan decenas de potencias de diez.

Ejemplos resueltos

Ochenta metros en kilómetros Convierta ochenta metros en kilómetros con un factor de conversión.

Tenemos metros y queremos kilómetros.

El factor de conversión es un kilómetro cada mil metros.

Multiplique ochenta metros por un kilómetro cada mil metros; los metros se cancelan y quedan kilómetros.

Ochenta entre mil son ocho centésimas.

Respuesta: 0,080 kilómetros

Ejercicios

- 1. Convierta dos kilómetros y medio en metros.

Pista: Use mil metros por kilómetro, para que se cancelen los kilómetros.

Respuesta: Dos mil quinientos metros: dos y medio por mil.

2. ¿Cuántos segundos hay en tres minutos y medio?

Pista: Use sesenta segundos por minuto.

Respuesta: Doscientos diez segundos: tres y medio por sesenta.

3. Un tramo mide treinta y seis pulgadas. ¿Cuántos pies son?

Pista: Use un pie cada doce pulgadas, para que se cancelen las pulgadas.

Respuesta: Tres pies: treinta y seis entre doce.

Terminando el viaje a casa

Dejamos el viaje a casa con una respuesta incómoda: diez kilómetros en veinte minutos son medio kilómetro por minuto. Ningún velocímetro marca kilómetros por minuto. Entonces, ¿cómo lo pasamos a kilómetros por hora, y luego a metros por segundo, sin perdernos?

$$0.5 \frac{\text{km}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$0.5 \frac{\text{km}}{\cancel{\text{min}}} \times \frac{60 \cancel{\text{min}}}{1 \text{ h}} = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Los minutos se cancelan en horas

El truco es el mismo de antes: multiplicar por un factor de conversión que cancele la unidad que no queremos. Los minutos sobran, y hay sesenta minutos en una hora. Así que multiplique medio kilómetro

por minuto por sesenta minutos por hora. Los minutos se cancelan, quedan kilómetros por hora, y medio por sesenta es treinta. La velocidad media es de treinta kilómetros por hora.

El libro muestra después cómo comprobar una respuesta así, en cuatro pasos. Primero, asegúrese de que las unidades se han cancelado de verdad. Si hubiera dado la vuelta al factor, multiplicando por una hora cada sesenta minutos, nada se cancelaría; acabaría con kilómetros por horas divididos entre minutos al cuadrado, que claramente no es una velocidad en kilómetros por hora. Segundo, compruebe que la unidad final es la que le pidieron: kilómetros por hora, y lo es. Tercero, revise las cifras: la distancia, diez coma cero, y el tiempo, veinte coma cero, tienen cada uno tres cifras significativas, así que la respuesta, treinta coma cero, también debe tener tres. El sesenta no limita esto, porque una hora se define exactamente como sesenta minutos, así que ese factor es perfectamente preciso. Cuarto, pregúntese si la respuesta es razonable. Veinte minutos son un tercio de hora; en una hora entera iría tres veces más lejos, tres por diez kilómetros, que son treinta. La respuesta tiene sentido. Es el tipo de velocidad que podría marcar el velocímetro de su coche en una calle lenta del centro.

Ahora, la segunda petición: metros por segundo. Parta de treinta kilómetros por hora y use dos factores de conversión, uno que pase las horas a segundos y otro que pase los kilómetros a metros. Hay tres mil seiscientos segundos en una hora y mil metros en un kilómetro. Multiplique treinta por mil y divida entre tres mil seiscientos, y obtendrá unos ocho coma treinta y tres metros por segundo. Si hubiera partido de medio kilómetro por minuto, habría necesitado otros factores, sesenta segundos por minuto y mil metros por kilómetro, pero llegaría exactamente a la misma respuesta. Dicho de

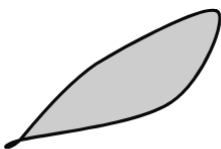
otro modo, el camino puede variar, pero las conversiones correctas siempre llegan al mismo sitio.

$$30 \frac{\cancel{\text{km}}}{\cancel{\text{h}}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \cancel{\text{km}}} \times \frac{1 \cancel{\text{h}}}{3600 \text{ s}} \\ \approx 8.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

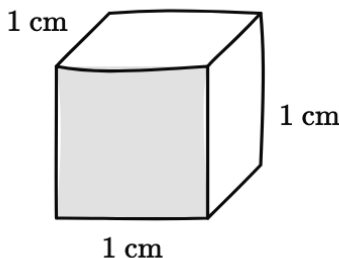
De kilómetros por hora a metros por segundo

¿Por qué dar las respuestas con tres cifras, y no con todas las que muestra la calculadora? El libro plantea esa pregunta aquí y promete responderla en la sección siguiente, sobre exactitud, precisión y cifras significativas.

Sigue una nota sobre unidades curiosas. Además de las conocidas, hay unidades poco usadas como el firkin, que antes servía para medir cerveza; un firkin son unos treinta y cuatro litros. El libro le invita a buscar antiguas pesas y medidas, como el grano de cebada, y a calcular cómo se relaciona cada una con las unidades métricas.



$$\frac{1}{50} \text{ s} = 20 \text{ ms}$$



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

Un mililitro es un cubito

Dos preguntas rápidas cierran la sección. Algunos colibríes batan las alas más de cincuenta veces por segundo. Para cronometrar un solo aleteo, un científico usaría la unidad fundamental de tiempo, el segundo, pero en un tamaño adecuadamente pequeño: el milisegundo, una milésima de segundo. Cincuenta aleteos en un segundo significa que cada uno dura una cincuentava parte de segundo, es decir, veinte milisegundos. La segunda pregunta: un centímetro cúbico equivale a un mililitro. ¿Qué nos dice eso? Que la unidad de volumen, el litro, está construida a partir de la unidad de longitud; un mililitro es simplemente un cubito de un centímetro de lado. El vasito dosificador que viene con un jarabe para la tos, marcado en mililitros, en realidad mide cubitos de centímetro.

Para recordar

Medio kilómetro por minuto por sesenta minutos por hora son treinta kilómetros por hora; los minutos se cancelan. Compruebe cada conversión: las unidades se cancelan, la unidad final es la correcta, las cifras corresponden a los datos y la respuesta es razonable. Treinta kilómetros por hora son unos ocho coma treinta y tres metros por segundo, usando tres mil seiscientos segundos por hora y mil metros por kilómetro. El aleteo de un colibrí, una cincuentava parte de segundo, se cronometra mejor en milisegundos: veinte. Un centímetro cúbico equivale a un mililitro, porque el volumen es una unidad derivada de la longitud.

Preguntas

1. ¿Por qué el factor de sesenta minutos por hora no limita el número de cifras significativas de la respuesta?
 - a. Porque sesenta es un número redondo
 - b. Porque una hora se define exactamente como sesenta minutos, así que el factor es perfectamente preciso
 - c. Porque los minutos se cancelan
 - d. Porque la respuesta está en horas
2. ¿Cómo comprueba la lección que treinta kilómetros por hora es razonable?

- a. Veinte minutos son un tercio de hora, así que en una hora iría tres veces diez kilómetros
 - b. Comparándolo con la velocidad de la luz
 - c. Contando las cifras
 - d. Pasándolo a metros por segundo
3. Si parte de medio kilómetro por minuto en lugar de treinta kilómetros por hora, ¿qué pasa con la respuesta en metros por segundo?
- a. Sale sesenta veces mayor
 - b. Sale en otras unidades
 - c. Es la misma, unos ocho coma treinta y tres metros por segundo
 - d. No puede hallarse
4. ¿Por qué cronometraría un científico un aleteo de colibrí en milisegundos?
- a. Porque el milisegundo es la unidad fundamental de tiempo
 - b. Porque un aleteo dura varios segundos
 - c. Porque los milisegundos son más exactos que los segundos
 - d. Porque cada aleteo dura solo una cincuentava parte de segundo, veinte milésimas

Respuestas

- 1. b)** Una hora son exactamente sesenta minutos por definición, así que el factor no lleva incertidumbre de medida.
- 2. a)** En una hora entera iría tres veces más lejos que en veinte minutos: treinta kilómetros.

- 3. c)** Hacen falta otros factores, pero las conversiones correctas siempre llegan a la misma respuesta.
- 4. d)** A cincuenta aleteos por segundo, cada uno dura veinte milisegundos, un tamaño cómodo para un suceso tan rápido.

Ejemplos resueltos

El viaje a casa en kilómetros por hora y metros por segundo

Recorre diez kilómetros en veinte minutos. ¿Cuál es su velocidad media en kilómetros por hora, y en metros por segundo?

Distancia entre tiempo: diez kilómetros en veinte minutos son medio kilómetro por minuto.

Multiplique por sesenta minutos por hora; los minutos se cancelan y quedan treinta kilómetros por hora.

Para metros por segundo, multiplique treinta por mil metros por kilómetro y divida entre tres mil seiscientos segundos por hora.

Treinta mil entre tres mil seiscientos son unos ocho coma treinta y tres.

Respuesta: treinta kilómetros por hora, unos ocho coma treinta y tres metros por segundo

Ejercicios

1. Recorre en bicicleta seis kilómetros en quince minutos. ¿Cuál es su velocidad media en kilómetros por hora?

Pista: Halle primero los kilómetros por minuto y luego multiplique por sesenta minutos por hora.

Respuesta: Veinticuatro kilómetros por hora: seis entre quince son cero coma cuatro kilómetros por minuto, y por sesenta, veinticuatro.

2. Pase setenta y dos kilómetros por hora a metros por segundo.

Pista: Multiplique por mil metros por kilómetro y divida entre tres mil seiscientos segundos por hora.

Respuesta: Veinte metros por segundo: setenta y dos mil entre tres mil seiscientos.

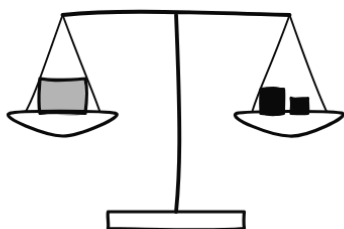
3. ¿Cuántos mililitros caben en un cubo de cinco centímetros de lado?

Pista: Un centímetro cúbico es un mililitro; halle el volumen en centímetros cúbicos.

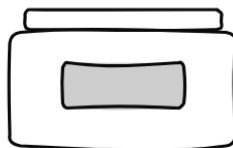
Respuesta: Ciento veinticinco mililitros: cinco por cinco por cinco centímetros cúbicos.

Cerca de la verdad, cerca entre sí

Súbase a la báscula del baño tres veces seguidas. ¿Marca exactamente el mismo número cada vez? Y aunque lo haga, ¿es ese número su peso real? Son dos preguntas distintas, y esta parte trata de la diferencia entre ellas.



0.1 g



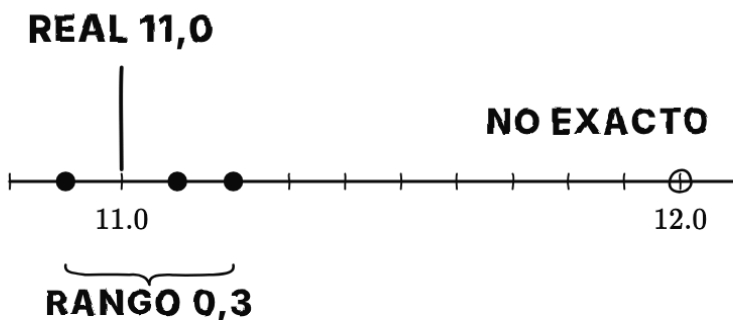
0.001 g

Balanza frente a báscula digital

El libro empieza con dos imágenes. La primera es una antigua balanza de dos platillos: el objeto desconocido va en un platillo y pesas de metal de masa conocida, como un gramo, diez gramos y cien gramos, en el otro, hasta que la barra entre los platillos queda nivelada y las

masas son iguales. La segunda es una báscula digital, que ha sustituido a muchas de esas balanzas. Una balanza mecánica puede leer solo hasta la décima de gramo más cercana, mientras que muchas básculas digitales leen hasta la milésima de gramo. Su báscula de cocina probablemente lee hasta el gramo, suficiente para la harina pero demasiado basta para pesar la dosis de un medicamento.

La ciencia se apoya en la observación y el experimento, es decir, en mediciones, y toda medición puede juzgarse de dos maneras. La primera es la exactitud: cuánto se acerca una medida al valor correcto. El ejemplo del libro es una hoja de papel estándar de impresora, vendida como de once coma cero pulgadas de largo. La mide tres veces y obtiene once coma uno, once coma dos y diez coma nueve pulgadas. Las tres están cerca de once coma cero, así que las medidas son bastante exactas. Una lectura de doce pulgadas no lo sería.



PULGADAS

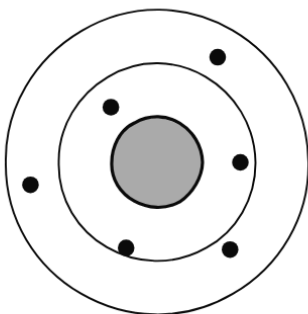
Tres lecturas de 11 pulgadas

La segunda es la precisión: cuánto coinciden entre sí medidas repetidas hechas de la misma manera. Una forma sencilla de juzgarla es el rango, la diferencia entre la lectura más baja y la más alta. Para el papel, la más baja fue diez coma nueve pulgadas y la más alta once coma dos, así que las lecturas difieren como mucho en tres décimas de pulgada. Son bastante precisas, porque no se dispersan mucho. Si hubiera medido diez coma nueve, once coma uno y once coma nueve, el rango sería de una pulgada entera, y las medidas no serían muy precisas. Dicho de otro modo, la exactitud pregunta «¿cuán cerca del blanco?», y la precisión, «¿cuán cerca unas de otras?».

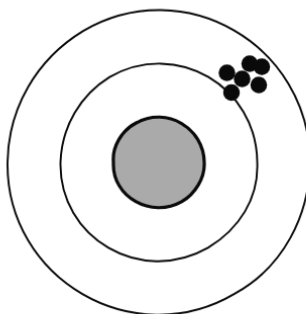
Pruébalo

Mida cinco veces el ancho de una mesa con una cinta métrica, anotando cada lectura al milímetro. Reste la lectura más pequeña de la más grande: ese rango muestra su precisión. Luego compare su media con el ancho impreso en las instrucciones de la mesa, si las tiene: la cercanía muestra su exactitud.

Las dos cualidades no tienen por qué ir juntas. El libro usa un sistema de navegación por satélite que intenta encontrar un restaurante. Imagine el restaurante como el centro de una diana, y cada intento de localizarlo como un punto negro. En la primera imagen, los puntos están muy dispersos, pero repartidos de forma uniforme alrededor del centro. Eso es poca precisión pero mucha exactitud: ninguna posición aislada es fiable, pero en promedio señalan el lugar correcto. En la segunda imagen, los puntos se apiñan muy juntos, pero en un grupo muy apartado del centro. Eso es mucha precisión pero poca exactitud: el sistema se repite fielmente, pero se equivoca fielmente. Cuando el punto azul del mapa de su teléfono salta por la calle, su precisión es baja; cuando se queda quieto en la manzana equivocada, su exactitud es baja.



**EXACTO,
NO PRECISO**



**PRECISO,
NO EXACTO**

Exacto o preciso

Las medidas del papel, en cambio, fueron exactas y precisas a la vez: cerca de once pulgadas y cerca unas de otras. A eso aspira toda buena medición.

Para recordar

La exactitud es cuánto se acerca una medida al valor correcto; la precisión, cuánto coinciden las medidas repetidas. Las lecturas del papel, once coma uno, once coma dos y diez coma nueve pulgadas, son exactas, porque están cerca de once, y precisas, porque su rango es de solo tres décimas de pulgada. El rango entre la lectura más baja y la más alta es una medida sencilla de la precisión. Las posiciones de navegación dispersas alrededor del blanco son exactas pero no precisas; las agrupadas lejos de él son precisas pero no exactas. Una báscula digital que lee hasta la milésima de gramo es más precisa que una balanza que lee hasta la décima.

Preguntas

1. Una báscula de baño marca cada vez el mismo peso equivocado. ¿Cómo la describiría?
 - a. Exacta pero no precisa
 - b. Precisa pero no exacta
 - c. Exacta y precisa
 - d. Ninguna de las dos, porque se repite
2. Un papel vendido como de once pulgadas mide once coma uno, once coma dos y diez coma nueve. ¿Por qué estas medidas son exactas?
 - a. Porque las tres están cerca de las once pulgadas correctas

- b. Porque son todas distintas
 - c. Porque son tres
 - d. Porque se midieron con una regla
3. Las posiciones de navegación están muy dispersas, pero repartidas por igual alrededor del restaurante. ¿Qué indica eso?
- a. Mucha precisión y mucha exactitud
 - b. Mucha precisión pero poca exactitud
 - c. Poca precisión pero mucha exactitud
 - d. Ni precisión ni exactitud

Respuestas

1. **b)** Las lecturas que coinciden entre sí son precisas; estar lejos del valor real las hace inexactas.
2. **a)** La exactitud es la cercanía al valor correcto, y las tres lecturas están cerca de once coma cero pulgadas.
3. **c)** Los puntos dispersos indican poca precisión; que estén centrados en el blanco indica mucha exactitud.

Ejemplos resueltos

Juzgar la precisión por el rango Tres medidas de una hoja de papel dan once coma uno, once coma dos y diez coma nueve pulgadas. ¿Cuál es su rango, y son precisas?

El rango es la lectura más alta menos la más baja.

La más alta es once coma dos pulgadas y la más baja diez coma nueve.

Once coma dos menos diez coma nueve son tres décimas de pulgada.

Las lecturas se dispersan como mucho tres décimas de pulgada, así que son bastante precisas.

Respuesta: tres décimas de pulgada; bastante precisas

Ejercicios

1. Las medidas de la misma hoja dan diez coma nueve, once coma uno y once coma nueve pulgadas. ¿Cuál es el rango, y cómo se compara con la primera serie?

Pista: Reste la más baja de la más alta.

Respuesta: Una pulgada: once coma nueve menos diez coma nueve. Es más del triple del primer rango, así que estas lecturas son mucho menos precisas.

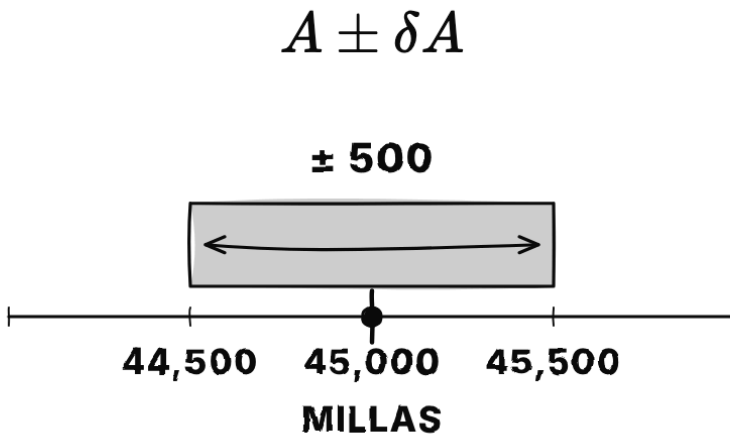
2. Una báscula de cocina pesa cinco veces una bolsa de azúcar vendida como de un kilogramo: mil cuatro, mil cinco, mil cuatro, mil cinco y mil cuatro gramos. ¿Las lecturas son exactas, precisas o ambas cosas?

Pista: Revise el rango y luego cuánto se alejan las lecturas de mil gramos.

Respuesta: Ambas cosas: el rango es de solo un gramo, así que son precisas, y todas las lecturas están a menos de cinco gramos de mil, así que se acercan al valor esperado.

Más o menos

Alguien le pregunta cuántos kilómetros lleva su coche. Mira el cuentakilómetros y dice: «Unas cuarenta y cinco mil millas, quinientas arriba o abajo». Sin darse cuenta, acaba de dar una medida junto con su incertidumbre.



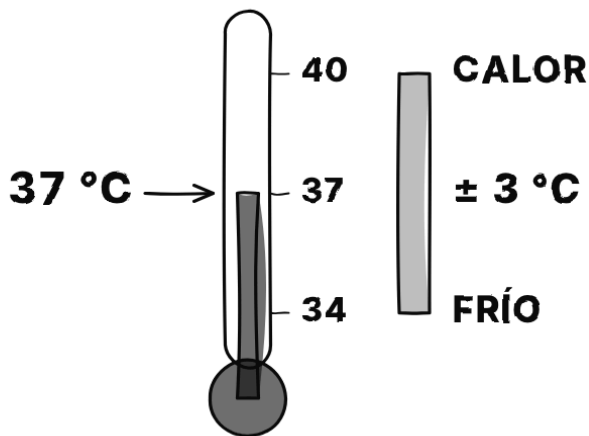
Más o menos quinientas

La exactitud y la precisión, dice el libro, aparecen ambas en un solo número llamado incertidumbre. La incertidumbre mide cuánto pueden alejarse sus valores medidos de un valor de referencia o esperado. Si las medidas no son muy exactas o precisas, la

incertidumbre es grande. Dicho más sencillo, la incertidumbre es una advertencia que acompaña a una medida. «Cuarenta y cinco mil millas, más o menos quinientas» significa que la cifra real podría ser tan baja como cuarenta y cuatro mil quinientas o tan alta como cuarenta y cinco mil quinientas, o cualquier valor intermedio. Toda medida tiene alguna incertidumbre; para la hoja de papel de antes, podríamos decir once pulgadas, más o menos dos décimas de pulgada. Los científicos suelen escribir la incertidumbre con la letra griega delta delante de la magnitud, que se lee «delta A», y anotan el resultado como el valor más o menos esa delta.

¿De dónde viene la incertidumbre? El libro enumera cuatro fuentes. El instrumento de medida tiene límites: la marca más pequeña de la regla puede ser una décima de pulgada. La persona que mide tiene una habilidad limitada: quizá ve mal. El propio objeto puede ser irregular: un lado del papel puede ser algo más largo que el otro. Y hay otros factores, que dependen de la situación. Una incertidumbre honesta sale de pensar con cuidado en todos ellos y en cuánto puede influir cada uno.

¿Por qué importa? El ejemplo del libro es un niño con fiebre. Le toma la temperatura al niño y el termómetro marca treinta y siete grados Celsius, la temperatura corporal normal. Pero suponga que la incertidumbre del termómetro fuera de tres grados. Entonces la temperatura real podría estar en cualquier punto entre treinta y cuatro grados, peligrosamente baja, y cuarenta grados, peligrosamente alta. Un termómetro así sería inútil. Por eso una dosis de medicamento o una lectura de fiebre necesitan un instrumento cuya incertidumbre sea pequeña comparada con las diferencias que importan.



Un termómetro inútil

Hay una forma ingeniosa de comparar incertidumbres de medidas muy distintas: la incertidumbre porcentual. En palabras: divida la incertidumbre entre el valor medido y luego multiplique por cien por cien. Le dice lo grande que es la incertidumbre comparada con lo que se mide.

$$\% \text{ inc} = \frac{\delta A}{A} \times 100\%$$

4.8

5.3

4.9

5.4

promedio = 5,1 lb

$$\frac{0.4}{5.1} \times 100\% \approx 8\%$$

**MEDIA BOLSA:
UNOS 16 %**

La incertidumbre porcentual de las manzanas

El libro resuelve un ejemplo con manzanas. Una tienda vende bolsas de cinco libras. Durante cuatro semanas compra una bolsa por semana y la pesa: cuatro coma ocho, cinco coma tres, cuatro coma nueve y cinco coma cuatro libras. Por otras mediciones ya sabe que la incertidumbre del peso medio es de cuatro décimas de libra. Primero, la media: suma los cuatro pesos, que dan veinte coma cuatro, y divide entre cuatro, lo que da cinco coma una libras. Eso concuerda con las cinco libras de la etiqueta, dentro de la incertidumbre de cuatro décimas. Ahora la incertidumbre porcentual: cuatro décimas entre cinco coma uno son unas ocho centésimas, y por cien por cien, alrededor de un ocho por ciento. Así que la bolsa pesa cinco libras, más o menos un ocho por ciento. En su báscula de cocina, el ocho por

ciento de una bolsa de cinco libras es más o menos el peso de una manzana pequeña.

El libro añade una pregunta para pensar: ¿y si la bolsa pesara solo la mitad, pero la incertidumbre siguiera siendo de cuatro décimas de libra? La misma incertidumbre, dividida entre un valor la mitad de grande, hace que la incertidumbre porcentual sea aproximadamente el doble. Dicho de otro modo, el mismo pequeño error importa más cuando lo que se mide es pequeño. Y una advertencia práctica: recuerde siempre multiplicar la fracción por cien por cien; si no, tendrá un decimal, no un porcentaje.

Para recordar

La incertidumbre dice cuánto puede alejarse una medida del valor real o esperado; se escribe como más o menos una cantidad. Procede de los límites del instrumento, la habilidad de la persona, las irregularidades del objeto y otros factores. Un termómetro con una incertidumbre de tres grados sería inútil para comprobar una fiebre. La incertidumbre porcentual es la incertidumbre dividida entre el valor medido, por cien por cien. Cuatro bolsas con una media de cinco coma una libras y una incertidumbre de cuatro décimas de libra dan alrededor de un ocho por ciento.

Preguntas

1. ¿Por qué un termómetro con una incertidumbre de tres grados sería inútil para comprobar una fiebre?
 - a. Porque mide en grados Celsius
 - b. Porque una lectura normal podría significar cualquier cosa, desde peligrosamente baja hasta peligrosamente alta
 - c. Porque tres grados es demasiado preciso
 - d. Porque la temperatura corporal nunca cambia
2. ¿Qué le dice la incertidumbre porcentual que no le dice la incertidumbre a secas?
 - a. Lo grande que es la incertidumbre comparada con lo que se mide
 - b. El valor real exacto
 - c. Qué instrumento se usó
 - d. Cuántas veces se repitió la medida
3. Si una bolsa pesara la mitad pero su incertidumbre siguiera igual, ¿qué pasaría con la incertidumbre porcentual?
 - a. Se reduciría a la mitad
 - b. Seguiría igual
 - c. Se duplicaría aproximadamente
 - d. Sería cero
4. ¿Cuál de estas es una de las cuatro fuentes de incertidumbre del libro?
 - a. El color del objeto
 - b. El precio del instrumento
 - c. La hora del día
 - d. Las irregularidades del objeto que se mide

Respuestas

1. **b)** Una lectura de treinta y siete grados podría significar cualquier valor entre treinta y cuatro y cuarenta, así que no dice nada útil.
2. **a)** Dividir la incertidumbre entre el valor medido muestra su tamaño en relación con la medida.
3. **c)** La misma incertidumbre dividida entre un valor la mitad de grande da una fracción aproximadamente el doble.
4. **d)** Las cuatro fuentes son los límites del instrumento, la habilidad de la persona, las irregularidades del objeto y otros factores según la situación.

Ejemplos resueltos

Una bolsa de manzanas Cuatro bolsas de manzanas de cinco libras pesan cuatro coma ocho, cinco coma tres, cuatro coma nueve y cinco coma cuatro libras, y la incertidumbre de la media es de cuatro décimas de libra. ¿Cuáles son el peso medio y la incertidumbre porcentual?

Sume los pesos: cuatro coma ocho más cinco coma tres más cuatro coma nueve más cinco coma cuatro son veinte coma cuatro libras.

Divida entre cuatro: la media es cinco coma una libras.

Divida la incertidumbre entre la media: cuatro décimas entre cinco coma uno son unas ocho centésimas.

Multiplique por cien por cien: alrededor de un ocho por ciento.

Respuesta: cinco coma una libras, alrededor de un ocho por ciento

Ejercicios

1. El kilometraje de un coche se da como cuarenta y cinco mil millas, más o menos quinientas. ¿Cuál es el kilometraje real mínimo y máximo posible, y cuál es la incertidumbre porcentual?

Pista: Reste y sume la incertidumbre; luego divídala entre el valor y multiplique por cien por cien.

Respuesta: Entre cuarenta y cuatro mil quinientas y cuarenta y cinco mil quinientas millas. Quinientas entre cuarenta y cinco mil son alrededor de una centésima, así que un uno por ciento, aproximadamente.

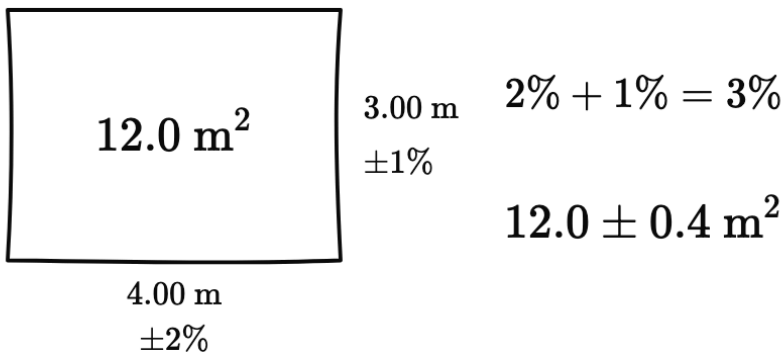
2. Una longitud se mide como veinte centímetros, más o menos medio centímetro. ¿Cuál es su incertidumbre porcentual?

Pista: Divida medio centímetro entre veinte centímetros y luego multiplique por cien por cien.

Respuesta: Un dos y medio por ciento: medio entre veinte es una cuarentava parte, que es un dos y medio por ciento.

La incertidumbre viaja, y las cifras hablan

Mide un suelo para comprar moqueta: cuatro metros de largo y tres de ancho. Ninguna de las dos medidas es perfecta. Entonces, ¿hasta qué punto puede fiarse del área que calcule con ellas?



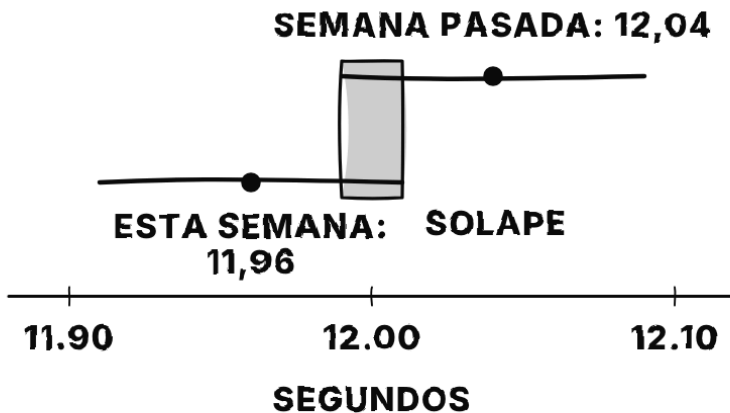
Las incertidumbres se suman

Todo lo que se calcula a partir de magnitudes medidas hereda su incertidumbre. El área de un suelo, calculada con su largo y su ancho, es incierta porque lo son el largo y el ancho. El libro da una regla sencilla para multiplicar o dividir, siempre que la incertidumbre de

cada medida sea pequeña, de unos pocos por ciento o menos. En palabras: la incertidumbre porcentual del resultado es la suma de las incertidumbres porcentuales de las medidas que intervienen.

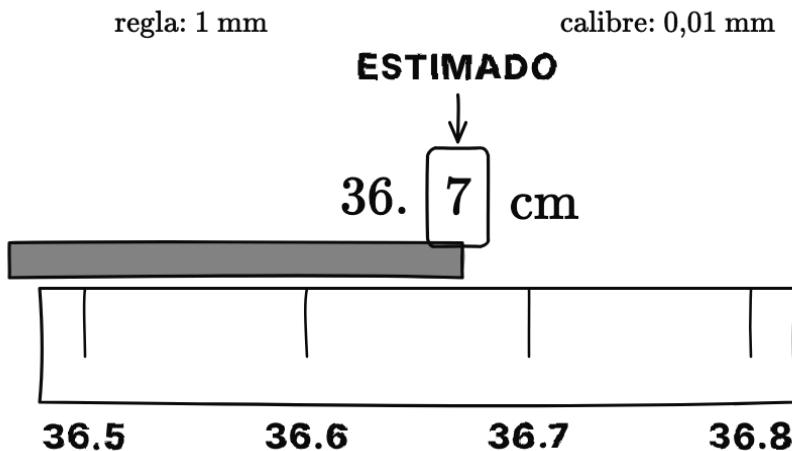
Aquí está el suelo. El largo es de cuatro coma cero cero metros con una incertidumbre del dos por ciento, y el ancho de tres coma cero cero metros con un uno por ciento. El área es cuatro por tres, doce coma cero metros cuadrados. Su incertidumbre porcentual es dos por ciento más uno por ciento, es decir, un tres por ciento. El tres por ciento de doce metros cuadrados son tres centésimas de doce, treinta y seis centésimas de metro cuadrado. Como el área se da con décimas de metro cuadrado, eso se redondea a cuatro décimas. ¿Por qué sumar? Porque cada error estira o encoge el resultado en su propia proporción, y en el peor caso los dos tiran en el mismo sentido. Cuando compre moqueta, esas cuatro décimas de metro cuadrado son un motivo para pedir un poco más.

Luego el libro plantea una pregunta aguda. Un entrenador de atletismo compra un cronómetro nuevo cuyo manual dice que tiene una incertidumbre de cinco centésimas de segundo. El mejor velocista del equipo corrió cien metros en doce coma cero cuatro segundos la semana pasada, y en once coma nueve seis esta semana. ¿Fue más rápida la carrera de esta semana? Los tiempos difieren en ocho centésimas de segundo. Pero cada lectura podría desviarse cinco centésimas, así que el tiempo de la semana pasada podría ser en realidad de solo once coma nueve nueve, y el de esta semana de hasta doce coma cero uno. Los intervalos se solapan. La respuesta del libro: no, el cronómetro es demasiado incierto para distinguir los dos tiempos. Dicho de otro modo, una diferencia solo significa algo si es mayor que la incertidumbre.



Dos tiempos que no se pueden distinguir

Eso lleva a la precisión del propio instrumento. Un instrumento preciso mide en pasos muy pequeños. Una regla corriente lee hasta el milímetro, mientras que un calibre, un medidor deslizante de mordazas finas, lee hasta la centésima de milímetro. El calibre es el instrumento más preciso porque puede detectar diferencias de longitud mucho más pequeñas. Cuanto más preciso es el instrumento, más precisas y exactas pueden ser las medidas.



3 CIFRAS SIGNIFICATIVAS

La última cifra es una estimación

Pruébalo

Coloque un palito a lo largo de una regla y mire de cerca su extremo. Probablemente caiga entre dos marcas de milímetro, digamos entre treinta y seis coma seis y treinta y seis coma siete centímetros. Tiene que juzgar cuál está más cerca, y quizá escriba treinta y seis coma siete. Esa última cifra es su mejor estimación, no una certeza.

Este es el núcleo de las cifras significativas. Solo puede escribir tantas cifras como su instrumento haya medido de verdad. Con una regla puede escribir treinta y seis coma siete centímetros, pero no treinta y

seis coma setenta y uno, porque una regla no puede medir centésimas de centímetro. La última cifra que escribe es siempre la primera con algo de duda. Para contar las cifras significativas, empiece por la primera cifra medida a la izquierda y cuente hasta la última cifra escrita a la derecha. Treinta y seis coma siete tiene tres cifras significativas. Así que el número de cifras significativas le dice lo preciso que era el instrumento de medida.

Para recordar

Todo lo que se calcula a partir de medidas arrastra su incertidumbre. Al multiplicar o dividir, se suman las pequeñas incertidumbres porcentuales: un dos por ciento y un uno por ciento dan un tres por ciento. Un suelo de cuatro por tres metros tiene un área de doce metros cuadrados, con una incertidumbre de unas cuatro décimas. Un cronómetro con una incertidumbre de cinco centésimas de segundo no puede distinguir doce coma cero cuatro de once coma nueve seis. Escriba solo las cifras que midió su instrumento; la última es la primera cifra incierta, y el número de cifras muestra la precisión del instrumento.

Preguntas

1. Al multiplicar dos medidas con incertidumbres pequeñas, ¿cómo se halla la incertidumbre porcentual del resultado?
 - a. Multiplicando sus incertidumbres porcentuales
 - b. Sumando sus incertidumbres porcentuales

- c. Tomando solo la mayor
 - d. Ignorándolas, ya que multiplicar elimina la incertidumbre
2. ¿Por qué el entrenador no puede decir que doce coma cero cuatro segundos y once coma nueve seis segundos son distintos?
- a. Porque cada lectura podría desviarse cinco centésimas, así que los intervalos posibles se solapan
 - b. Porque el velocista corrió distancias distintas
 - c. Porque los cronómetros solo marcan segundos enteros
 - d. Porque ocho centésimas es una diferencia grande
3. ¿Por qué una lectura de regla no puede escribirse como treinta y seis coma setenta y uno centímetros?
- a. Porque las reglas son inexactas
 - b. Porque no se permiten dos decimales
 - c. Porque una regla no puede medir centésimas de centímetro
 - d. Porque el palito es demasiado corto
4. ¿Qué representa la última cifra escrita en una medida?
- a. Una cifra conocida con certeza
 - b. Una cifra copiada de la etiqueta
 - c. Un error de redondeo que hay que ignorar
 - d. La primera cifra con algo de duda

Respuestas

1. **b)** La incertidumbre porcentual de un producto o cociente es la suma de las incertidumbres porcentuales de los datos.

- 2. a)** El tiempo de la semana pasada podría ser de solo once coma nueve nueve y el de esta semana de hasta doce coma cero uno.
- 3. c)** Solo puede escribir tantas cifras como midió su instrumento, y una regla lee hasta el milímetro.
- 4. d)** La última cifra que escribe es siempre la primera con algo de incertidumbre: su mejor estimación.

Ejemplos resueltos

La incertidumbre del área de un suelo Un suelo mide cuatro coma cero cero metros de largo con un dos por ciento de incertidumbre y tres coma cero cero metros de ancho con un uno por ciento. Halle su área y la incertidumbre en metros cuadrados.

El área es el largo por el ancho: cuatro por tres son doce coma cero metros cuadrados.

Al multiplicar, se suman las incertidumbres porcentuales: dos por ciento más uno por ciento son un tres por ciento.

El tres por ciento de doce son treinta y seis centésimas de metro cuadrado.

El área se da en décimas, así que se redondea a cuatro décimas.

Respuesta: doce coma cero metros cuadrados, más o menos unas cuatro décimas

Ejercicios

1. Un rectángulo se mide como cinco metros por dos metros, con incertidumbres del tres por ciento y del dos por ciento. ¿Cuál es el área y su incertidumbre porcentual?

Pista: Multiplique los lados y luego sume los porcentajes.

Respuesta: Diez metros cuadrados con un cinco por ciento de incertidumbre, es decir, más o menos medio metro cuadrado.

2. ¿Cuántas cifras significativas tiene treinta y seis coma siete centímetros, y qué le dice eso del instrumento?

Pista: Cuente desde la primera cifra medida hasta la última escrita.

Respuesta: Tres; la última cifra está en décimas de centímetro, así que el instrumento, una regla, lee hasta el milímetro.

Los ceros y las respuestas honestas

Escriba en una calculadora uno coma dos por uno coma dos por pi, y mostrará orgullosa cuatro coma cinco dos tres ocho nueve tres cuatro. Ocho cifras. Pero si midió el uno coma dos con una simple cinta, ¿son reales todas esas cifras? La respuesta del libro es que no, y esta parte muestra cómo saber qué cifras conservar.

CIFRAS SIGNIFICATIVAS

0.0009	1
--------	----------

15 450.0	6
----------	----------

6×10^3	1
-----------------	----------

87.990	5
--------	----------

30.42	4
-------	----------

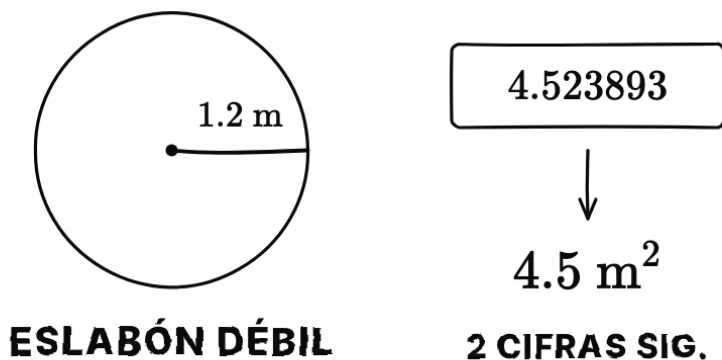
Qué ceros cuentan

Primero, la cifra traicionera: el cero. En cero coma cero cinco tres, los ceros solo marcan dónde va la coma; ocupan un lugar, no son medidas. Así que cero coma cero cinco tres tiene solo dos cifras

significativas, el cinco y el tres. En diez coma cero cinco tres, los ceros están entre cifras medidas, así que cuentan: cinco cifras significativas. Un número como mil trescientos es ambiguo. Sus ceros pueden significar que se midió hasta la última unidad, o solo ocupar lugares, así que podría tener dos, tres o cuatro cifras significativas. Para eliminar la duda, escríbalo en notación científica, como un número por una potencia de diez. La regla, en resumen: los ceros son significativos salvo cuando solo ocupan lugares.

El libro ofrece cinco para practicar. Cero coma cero cero cero nueve tiene una cifra significativa, porque sus ceros solo colocan la coma. Quince mil cuatrocientos cincuenta coma cero tiene seis, porque los ceros muestran que la medida se hizo hasta la décima. Seis por diez al cubo tiene una; la potencia de diez solo coloca la coma. Ochenta y siete coma nueve nueve cero tiene cinco, porque el cero final muestra una medida hasta la milésima. Y treinta coma cuatro dos tiene cuatro, porque un cero entre cifras significativas cuenta.

Ahora, combinar medidas. Un resultado no puede ser más preciso que la medida menos precisa que entró en él. Hay dos reglas.



El eslabón débil: el radio

Al multiplicar y dividir, conserve tantas cifras significativas como el dato que tenga menos. Tome el área de un círculo, pi por el radio por el radio. Si el radio es uno coma dos metros, con dos cifras significativas, los cuatro coma cinco dos tres ocho nueve tres cuatro metros cuadrados de la calculadora deben recortarse a cuatro coma cinco metros cuadrados. Pi se conoce con muchas más cifras, pero eso no ayuda: el radio es el eslabón débil. Es como una receta que dice «más o menos una taza» de harina; pesar el azúcar al miligramo no hará el pastel más exacto.

Para sumar y restar, la regla trata de decimales, no de cifras significativas. La respuesta no puede tener más decimales que la medida menos precisa. El ejemplo del libro: compra siete coma cinco

seis kilos de patatas en una báscula de tienda que lee hasta las centésimas. Deja seis coma cero cinco dos kilos en su laboratorio, pesados en una báscula que lee hasta las milésimas. Luego, en casa, añade trece coma siete kilos, pesados en una báscula de baño que solo lee hasta las décimas. Siete coma cinco seis menos seis coma cero cinco dos más trece coma siete son quince coma dos cero ocho kilos. La medida menos precisa, trece coma siete, solo llega a las décimas, así que la respuesta se redondea a las décimas: quince coma dos kilos. Dicho de otro modo, una cadena de pesadas solo es tan fina como su báscula más basta.

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

Decide la báscula más basta

Para recordar

Los ceros que solo colocan la coma no son significativos; los ceros entre cifras, o medidos al final tras la coma, sí lo son. Un número como mil trescientos es ambiguo; la notación científica elimina la duda. Al multiplicar o dividir, conserve tantas cifras significativas como el dato menos preciso: un radio de uno coma dos metros da un área de cuatro coma cinco metros cuadrados. Al sumar o restar, conserve tantos decimales como el dato menos preciso: las patatas suman quince coma dos kilos. Una respuesta nunca debe presumir de más precisión que sus medidas.

Preguntas

1. ¿Por qué cero coma cero cinco tres tiene solo dos cifras significativas?
 - a. Porque es menor que uno
 - b. Porque sus ceros solo marcan dónde va la coma
 - c. Porque el cinco es incierto
 - d. Porque los ceros nunca cuentan
2. El radio de un círculo es de uno coma dos metros. ¿Por qué su área se da como cuatro coma cinco metros cuadrados?
 - a. Porque el radio tiene dos cifras significativas, así que el resultado conserva dos
 - b. Porque pi solo se conoce con dos cifras
 - c. Porque las áreas siempre se redondean a un decimal

- d. Porque la calculadora se equivoca
3. ¿Por qué las patatas se dan como quince coma dos kilos y no quince coma dos cero ocho?
- a. Porque la báscula de la tienda lee hasta las centésimas
 - b. Porque restar siempre hace perder cifras
 - c. Porque la báscula de baño, la menos precisa, solo lee hasta las décimas
 - d. Porque por ley los kilos se redondean a décimas
4. ¿Cuántas cifras significativas tiene ochenta y siete coma nueve nueve cero?
- a. Tres
 - b. Cuatro
 - c. Seis
 - d. Cinco

Respuestas

1. **b)** Los ceros ocupan un lugar, no son medidas, así que solo cuentan el cinco y el tres.
2. **a)** Al multiplicar, el resultado conserva tantas cifras significativas como el dato menos preciso, el radio.
3. **c)** Al sumar o restar, la respuesta no tiene más decimales que la medida menos precisa.
4. **d)** El cero final muestra una medida hasta la milésima, así que cuenta: cinco cifras significativas.

Ejemplos resueltos

Sumar pesadas de patatas Compra siete coma cinco seis kilos de patatas, deja seis coma cero cinco dos kilos en un laboratorio y luego añade trece coma siete kilos en casa. ¿Cuánto tiene, con la precisión correcta?

Siete coma cinco seis menos seis coma cero cinco dos es uno coma cinco cero ocho.

Sume trece coma siete: quince coma dos cero ocho kilos.

La medida menos precisa, trece coma siete, solo llega a las décimas.

Redondee a las décimas: quince coma dos kilos.

Respuesta: quince coma dos kilos

Ejercicios

1. ¿Cuántas cifras significativas hay en cero coma cero cero cero nueve, en quince mil cuatrocientos cincuenta coma cero y en treinta coma cuatro dos?

Pista: Los ceros de posición no cuentan; los ceros entre cifras o medidos al final tras la coma sí.

Respuesta: Una, seis y cuatro.

2. Un rectángulo mide dos coma cinco metros por uno coma dos tres metros. ¿Cuál es su área, con el número correcto de cifras significativas?

Pista: Multiplique y luego conserve tantas cifras significativas como el dato que tenga menos.

Respuesta: Tres coma uno metros cuadrados: dos coma cinco por uno coma dos tres es tres coma cero siete cinco, y dos coma cinco solo tiene dos cifras significativas.

Tres cifras, y una estimación de un billón

¿Qué altura tiene el bloque de pisos de su calle? Probablemente no pueda medirlo, pero sí contar sus plantas. Con una longitud conocida y un poco de multiplicación puede hacer una estimación sorprendentemente buena, y esta parte trata justo de esa habilidad. Pero antes, unas palabras sobre cómo trata este libro sus cifras.

¿CUÁNTAS CIFRAS?

ESTE LIBRO: 3 CIFRAS SIGNIFICATIVAS

$$2 \times 13.5 + 10.2 = 37.2 \text{ lb}$$

EXACTO

$$F = 55 \times 0.0255 \approx 1.4 \text{ N}$$

2 CIFRAS SIG.

Los números exactos no cuentan

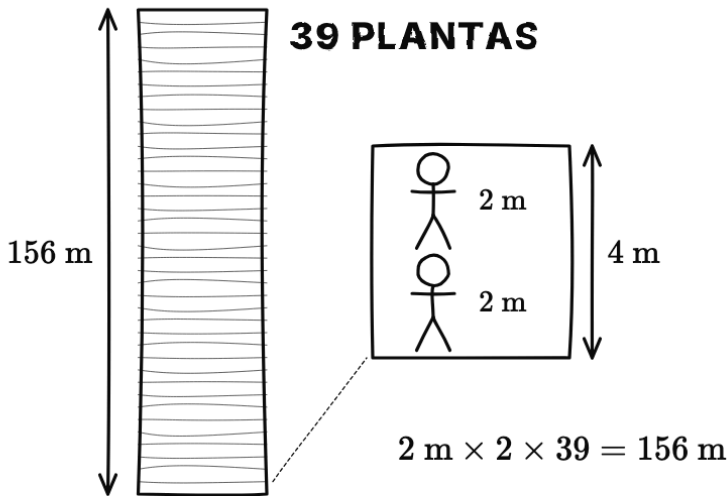
En este libro se considera que la mayoría de los números tienen tres cifras significativas, y los ejemplos resueltos mantienen esa cuenta de

forma coherente. Una respuesta dada con tres cifras se apoya en datos fiables hasta al menos tres cifras; si los datos tienen menos, la respuesta también. El libro cuida además de que el número de cifras tenga sentido para la situación, y en algunos temas, como la óptica, usa más de tres porque hace falta más exactitud. Y una excepción importante: un número exacto no limita las cifras de un resultado. El dos de la regla para la longitud de una circunferencia, dos por π por el radio, es exactamente dos, no una medida, así que no cuenta.

El libro lo pone a prueba con dos cálculos rápidos. Una mujer tiene tres bolsas: dos pesan trece coma cinco libras cada una, y una pesa diez coma dos. El total es dos por trece coma cinco, más diez coma dos, que son treinta y siete coma dos libras. Las «dos bolsas» son un recuento, un número exacto, así que no recortan las cifras. Segundo, la fuerza es igual a la masa por la aceleración. Un carro de cincuenta y cinco kilos acelera doscientas cincuenta y cinco diezmilésimas de metro por segundo cada segundo. Cincuenta y cinco por eso es aproximadamente uno coma cuatro cero, y como cincuenta y cinco kilos solo tiene dos cifras significativas, la fuerza es de uno coma cuatro newtons.

Ahora, una sección nueva: la aproximación. Físicos, científicos e ingenieros necesitan a menudo un cálculo rápido a ojo. ¿A qué distancia está cierto lugar? ¿Qué densidad tiene, más o menos, un objeto? ¿Qué corriente pasará, aproximadamente, por un circuito? Muchas respuestas aproximadas salen de fórmulas cuyos datos solo se conocen de forma aproximada. La habilidad crece con la práctica: pensar en números, atreverse a arriesgar y conocer bien las unidades. Las aproximaciones nos permiten descartar escenarios imposibles y números poco realistas, poner a prueba lo que afirman otros y orientar nuestro propio enfoque de un problema.

El primer ejemplo es un edificio de treinta y nueve plantas. El truco es partir de algo conocido: una persona. Un adulto mide unos dos metros, y una planta tiene más o menos la altura de dos adultos, unos cuatro metros. Así que el edificio mide unos dos metros por persona, por dos personas por planta, por treinta y nueve plantas, es decir, ciento cincuenta y seis metros. Es una cifra aproximada, pero útil.



Un edificio medido en personas

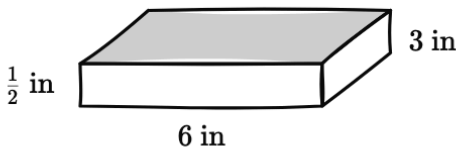
Pruébalo

Abra la mano y mídala una vez con una regla, digamos diez centímetros de ancho. Ahora recorra su mesa con la mano y cuente los palmos. Ocho palmos son unos ochenta centímetros. Ha medido la mesa usando su propio cuerpo como regla.

El libro pregunta qué más, aparte de la longitud, podría estimar, y luego plantea un reto mucho mayor. En 2021, la deuda federal de Estados Unidos era de algo más de veintiocho billones de dólares. La mayoría de nosotros no tiene ninguna idea de lo que es siquiera un billón. Así que imagine un billón de dólares en billetes de cien, atados en fajos bancarios de cien billetes, de diez mil dólares cada fajo. Reparta los fajos de forma uniforme sobre un campo de fútbol americano, entre las zonas de anotación. ¿Qué altura tendría el montón? Un amigo calcula tres pulgadas; otro dice diez pies. (Aquí el libro trabaja en pulgadas y pies, porque los campos de fútbol americano se miden en yardas.)

un billón: $\$10^{12}$

10 000 \$



$$\frac{10^{12}}{10^4} = 10^8$$

FAJOS

$$6 \times 3 \times \frac{1}{2} = 9 \text{ in}^3$$

Un billón en fajos bancarios

El plan es partir de algo fácil de imaginar: un fajo bancario. Hallar su volumen, hallar cuántos fajos hacen un billón, y luego repartir su volumen total sobre el área del campo para obtener la altura. Un billete mide aproximadamente tres por seis pulgadas, y un fajo de cien tiene media pulgada de grosor. Así que un fajo ocupa seis por tres por medio, es decir, nueve pulgadas cúbicas. Es más o menos el tamaño de un teléfono grueso, lo bastante pequeño para meterlo en el bolsillo del abrigo. ¿Cuántos fajos? Un billón es un uno seguido de doce ceros, y cada fajo contiene diez mil dólares, un uno seguido de cuatro ceros. Al dividir, restamos los ceros: doce menos cuatro deja ocho, así que hay cien millones de fajos.

Para recordar

Este libro suele trabajar con tres cifras significativas y mantiene esa cuenta de forma coherente en sus ejemplos. Los números exactos, como el dos de dos pi erre o un recuento de bolsas, no limitan las cifras de un resultado. Las aproximaciones permiten descartar números poco realistas, poner a prueba afirmaciones y orientar el enfoque. Un edificio de treinta y nueve plantas mide unos ciento cincuenta y seis metros, a razón de dos personas, cuatro metros, por planta. Un billón de dólares en billetes de cien son cien millones de fajos bancarios, de unas nueve pulgadas cúbicas cada uno.

Preguntas

1. ¿Por qué el recuento de dos bolsas no limita las cifras significativas del peso total?
 - a. Porque dos es un número pequeño
 - b. Porque un recuento es un número exacto, no una medida
 - c. Porque las bolsas pesan lo mismo
 - d. Porque las libras no son métricas
2. ¿Por qué la fuerza sobre el carro se da como uno coma cuatro newtons y no uno coma cuatro cero?
 - a. Porque la masa, cincuenta y cinco kilos, solo tiene dos cifras significativas
 - b. Porque la fuerza siempre se redondea a décimas

- c. Porque la aceleración es pequeña
 - d. Porque la calculadora muestra dos cifras
3. ¿Cómo estima la lección la altura de un edificio de treinta y nueve plantas?
- a. Midiendo su sombra
 - b. Suponiendo cien metros
 - c. Escalando: unos dos metros por persona, dos personas por planta, treinta y nueve plantas
 - d. Contando ventanas
4. ¿Cuántos fajos bancarios de billetes de cien dólares hacen un billón de dólares?
- a. Mil
 - b. Un millón
 - c. Diez mil
 - d. Cien millones

Respuestas

1. **b)** Los números exactos, como un recuento de bolsas, no limitan las cifras de un resultado.
2. **a)** Al multiplicar, se conservan tantas cifras significativas como el dato menos preciso: cincuenta y cinco tiene dos.
3. **c)** Dos metros por persona por dos personas por planta por treinta y nueve plantas dan unos ciento cincuenta y seis metros.
4. **d)** Un billón tiene doce ceros y un fajo de diez mil tiene cuatro; doce menos cuatro deja ocho ceros: cien millones.

Ejemplos resueltos

La altura de un edificio de 39 plantas Estime la altura de un edificio de treinta y nueve plantas, tomando un adulto como de unos dos metros y una planta como de unos dos adultos.

Una planta son unos dos adultos de dos metros cada uno, unos cuatro metros.

Treinta y nueve plantas por cuatro metros por planta.

Treinta y nueve por cuatro son ciento cincuenta y seis.

Respuesta: unos ciento cincuenta y seis metros

Ejercicios

1. Estime de la misma forma la altura de un edificio de doce plantas.

Pista: Tome unos cuatro metros por planta.

Respuesta: Unos cuarenta y ocho metros: doce por cuatro.

2. Una mujer tiene tres bolsas: dos pesan trece coma cinco libras cada una y una pesa diez coma dos. ¿Cuál es el total, con las cifras correctas?

Pista: El recuento de dos bolsas es exacto; conserve las décimas de los pesos medidos.

Respuesta: Treinta y siete coma dos libras: dos por trece coma cinco son veintisiete, más diez coma dos.

3. Un fajo bancario mide seis por tres por media pulgada. ¿Cuál es su volumen?

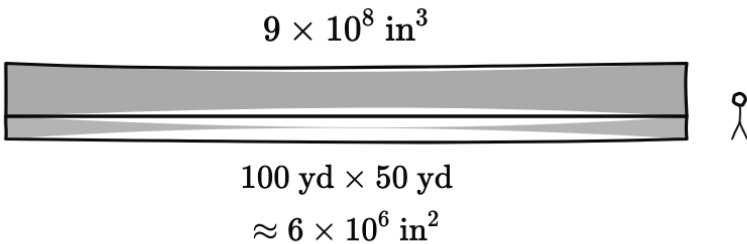
Pista: Multiplique largo, ancho y alto.

Respuesta: Nueve pulgadas cúbicas: seis por tres son dieciocho, por medio son nueve.

¿Qué altura tiene un billón?

Tenemos cien millones de fajos bancarios, de unas nueve pulgadas cúbicas cada uno. Ahora, repartámoslos sobre el campo de fútbol.

$$h = \frac{V}{A} \quad \frac{9 \times 10^8}{6 \times 10^6} = 150 \text{ in}$$
$$\approx 12 \text{ ft}$$



Volumen entre área da la altura

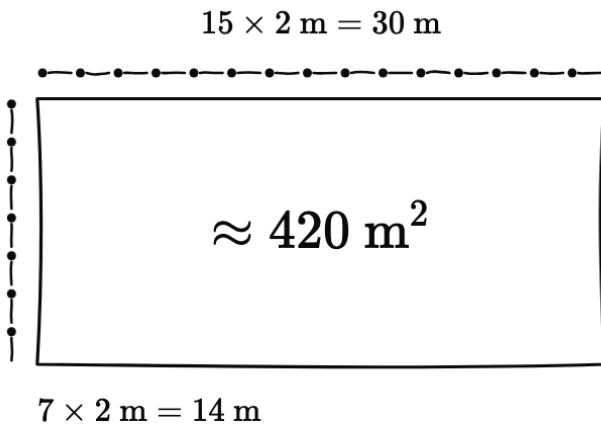
El campo mide cien yardas de largo y cincuenta de ancho, es decir, cinco mil yardas cuadradas. Para que encaje con los fajos, medidos en pulgadas, convertimos: una yarda son tres pies y un pie son doce pulgadas, así que una yarda cuadrada contiene tres por tres por doce por doce, que son mil doscientas noventa y seis pulgadas cuadradas. Por tanto, cinco mil yardas cuadradas son unos seis millones

cuatrocientas ochenta mil pulgadas cuadradas, redondeado a seis millones, conservando una sola cifra significativa para esta estimación aproximada.

El volumen total de dinero es de nueve pulgadas cúbicas por fajo por cien millones de fajos: novecientos millones de pulgadas cúbicas. El volumen es igual al área por la altura, así que la altura es el volumen dividido entre el área. Novecientos millones entre seis millones son ciento cincuenta, así que el montón alcanza unas ciento cincuenta pulgadas de alto. Divida entre doce pulgadas por pie y son unos doce pies. Eso es una vez y media la altura del techo de una habitación corriente, extendido por todo un campo de fútbol.

El amigo que dijo tres pulgadas se quedó muy corto; el que dijo diez pies acertó más o menos. El libro le pide comparar su propia primera suposición y pensar en la diferencia entre una suposición rápida y una aproximación cuidadosa, paso a paso.

Un último ejercicio usa su propio cuerpo como regla. ¿Qué tamaño tiene una cancha de baloncesto reglamentaria? Un hombre adulto mide unos dos metros. Unos quince hombres tumbados uno tras otro cubrirían su largo, unos treinta metros, y unos siete cubrirían su ancho, unos catorce metros. Treinta por catorce da aproximadamente cuatrocientos veinte metros cuadrados.



Una cancha medida en personas

Así termina el capítulo: de unas pocas leyes sencillas, pasando por unidades acordadas y una incertidumbre honesta, a estimaciones que puede hacer de cabeza.

Para recordar

Un campo de fútbol de cinco mil yardas cuadradas son unos seis millones de pulgadas cuadradas. Cien millones de fajos de nueve pulgadas cúbicas suman novecientos millones de pulgadas cúbicas de dinero. Dividir el volumen entre el área da una altura de unas ciento cincuenta pulgadas, unos doce pies. Una cancha de baloncesto, medida en personas de dos metros, mide unas quince por siete de ellas, aproximadamente cuatrocientos veinte metros cuadrados.

Preguntas

1. ¿Por qué las yardas cuadradas deben convertirse aplicando dos veces los factores de yardas a pies y de pies a pulgadas?
 - a. Porque el área tiene dos dimensiones, largo y ancho, y cada una necesita conversión
 - b. Porque el campo es el doble de largo que de ancho
 - c. Porque las yardas cuadradas son mayores que las yardas
 - d. Porque las pulgadas son menores que los pies
2. ¿Cómo se halla la altura del montón de dinero?
 - a. Sumando el volumen y el área
 - b. Dividiendo el volumen del dinero entre el área del campo
 - c. Multiplicando el área por el número de fajos
 - d. Dividiendo el área entre el volumen

3. ¿Qué amigo se acercó más, y por qué importa el ejercicio?
- a. El de tres pulgadas, lo que muestra que las suposiciones suelen acertar
 - b. Ninguno, lo que muestra que las estimaciones son inútiles
 - c. El de diez pies, lo que muestra que una estimación cuidadosa paso a paso puede poner a prueba las suposiciones rápidas
 - d. Los dos por igual
4. ¿Cómo se estima el área de la cancha de baloncesto?
- a. Buscándola
 - b. Recorriéndola con el teléfono
 - c. Suponiendo que es cuadrada
 - d. Contando personas de dos metros a lo largo y a lo ancho y multiplicando

Respuestas

1. **a)** Una yarda cuadrada son tres por tres por doce por doce pulgadas cuadradas, porque se convierten tanto el largo como el ancho.
2. **b)** El volumen es igual al área por la altura, así que la altura es el volumen dividido entre el área.
3. **c)** El montón mide unos doce pies; diez pies era más o menos correcto y tres pulgadas, muy poco.
4. **d)** Unos quince hombres cubren el largo, treinta metros, y siete el ancho, catorce metros; treinta por catorce son unos cuatrocientos veinte.

Ejemplos resueltos

La altura de un billón de dólares Cien millones de fajos bancarios de nueve pulgadas cúbicas cada uno se reparten de forma

uniforme sobre un campo de fútbol de unos seis millones de pulgadas cuadradas. ¿Qué altura tiene el montón?

Volumen total: nueve pulgadas cúbicas por cien millones son novecientos millones de pulgadas cúbicas.

La altura es el volumen dividido entre el área.

Novecientos millones entre seis millones son ciento cincuenta, unas ciento cincuenta pulgadas.

Ciento cincuenta pulgadas entre doce pulgadas por pie son unos doce pies.

Respuesta: unas ciento cincuenta pulgadas, aproximadamente doce pies

Ejercicios

1. ¿Cuántas pulgadas cuadradas hay en una yarda cuadrada?

Pista: Una yarda son tres pies y un pie doce pulgadas; convierta el largo y el ancho.

Respuesta: Mil doscientas noventa y seis: tres por tres por doce por doce.

2. Estime el área de una habitación de unas tres alturas de adulto de largo y dos de ancho, con un adulto de unos dos metros.

Pista: Pase las personas a metros y luego multiplique largo por ancho.

Respuesta: Unos veinticuatro metros cuadrados: seis metros por cuatro metros.