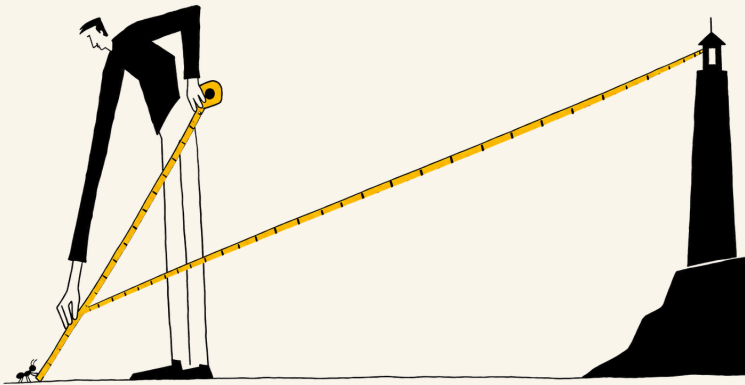


Física universitaria



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

Unas pocas reglas detrás de todo

Lo que abarca la física

Modelos, teorías y leyes

De la filosofía natural a la física moderna

Por qué necesitamos unidades acordadas

El kilogramo y los prefijos

De un protón al universo, y de vuelta a los metros

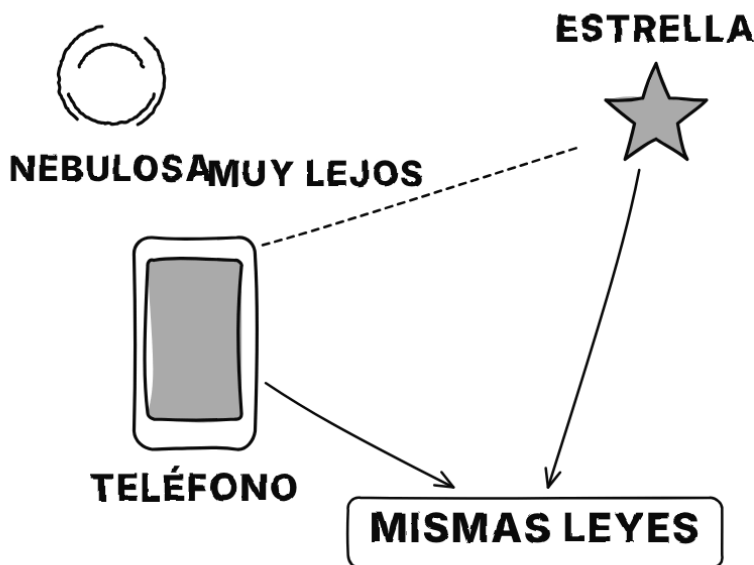
Exacto, preciso y con cuánta seguridad

Cuánta duda, y cuántas cifras

Respuestas honradas y buenas estimaciones

Unas pocas reglas detrás de todo

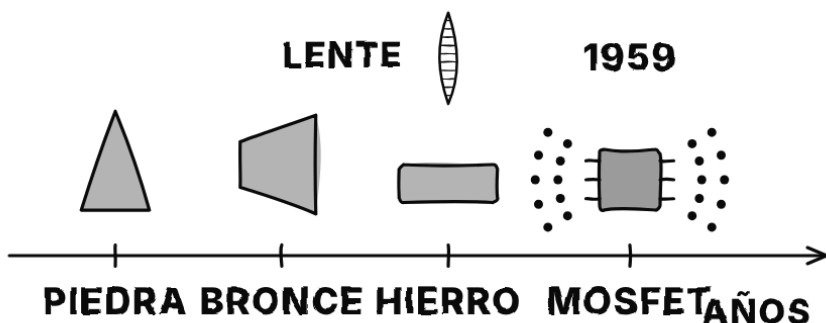
Esta noche, si el cielo está despejado, salga y busque una estrella brillante. Levante el teléfono junto a ella, de modo que la pantalla encendida y el lejano punto de luz queden en la misma vista. Uno esperaría que no tuvieran nada en común: uno es una lámina de vidrio y metal en su mano; la otra, un horno de gas cuya luz tarda en llegarnos más que una vida humana. Y, sin embargo, la luz de ambos nace del mismo puñado de reglas, las mismas que hacen hervir una tetera y caer una llave que se suelta. Esa sorpresa es donde empieza este libro, y es el hilo principal de todo lo que sigue.



Teléfono y estrella, las mismas reglas

La primera imagen del libro es la nebulosa del Velo, una enorme nube de gas luminoso a unos dos mil cuatrocientos años luz de la Tierra. Un año luz es la distancia que recorre la luz en un año, unos nueve billones y medio de kilómetros, así que la nube está inimaginablemente lejos y es inimaginablemente grande. Es lo que queda de una estrella que estalló hace unos ocho mil años, y su onda expansiva aún avanza contra el gas que la rodea, dibujando finos hilos y velos brillantes. Los astrónomos comparan fotografías nuevas con las que tomó el telescopio Hubble en 1997, y por el cambio aprenden cómo se expanden esas nubes. La idea del libro es sencilla: las fuerzas que actúan allá lejos son las mismas con las que trabajan los ingenieros al lanzar un cohete o calentar una casa. Sus colores son el brillo conocido del hidrógeno, el azufre y el oxígeno, los mismos elementos de los que está hecho todo lo que nos rodea.

Luego el libro pasa del cielo a la historia humana. Cada gran época de la técnica, la Edad de Piedra, la Edad del Bronce, la Edad del Hierro, se definió por lo que la gente sabía de los materiales y de cómo trabajarlos. Cómo una piedra se talla en punta de lanza, cómo el carbono mezclado con el hierro en los hornos del sur de la India y de Sri Lanka dio el primer acero fino, cómo el vidrio pulido se convierte en lente: todo eso es física, aprendida con las manos mucho antes de escribirse. Nuestra época también tiene su héroe, un diminuto interruptor llamado MOSFET, inventado en 1959 en Nueva Jersey por Mohamed Atalla, nacido en Egipto, y Dawon Kahng, nacido en Corea. Se han fabricado más interruptores de estos que de cualquier otro objeto en la historia de la humanidad. Miles de millones de ellos están dentro del teléfono que acaba de levantar hacia la estrella, y otros gobiernan los mandos de un coche y la electrónica de un microondas.

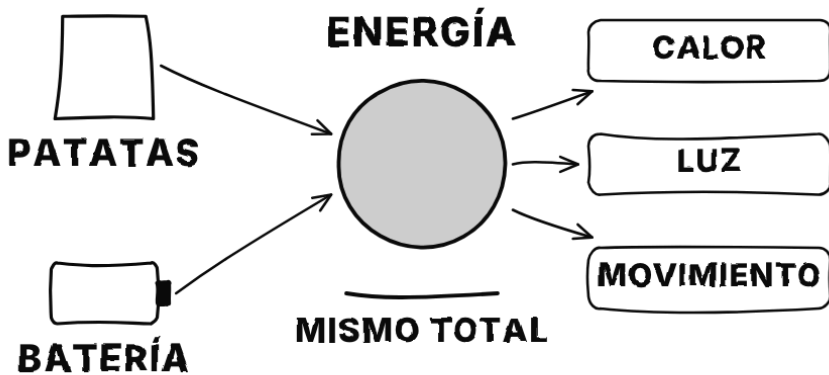


Épocas hechas de materiales

La física vive también dentro de muchos oficios que no llevan esa palabra en su nombre. Un piloto tiene que entender cómo el viento empuja el avión y desvía su trayectoria, y un fisioterapeuta, las fuerzas sobre los músculos cuando el cuerpo se dobla y se mueve. Ingenieros, electricistas, médicos y programadores se apoyan en las mismas ideas cada día de trabajo. El libro añade las maravillas más recientes de las noticias, trenes que flotan sobre sus vías, capas que desvían la luz a su alrededor, robots diminutos que persiguen células cancerosas, y dice que también ellas descansan en estos mismos principios.

Aquí está el centro de la cuestión. El mundo es enormemente variado: aves que vuelan en formación, flores de todos los colores, rayos, la gravedad, las partículas más pequeñas y los mayores cúmulos de

galaxias. A lo largo de los siglos la gente ha reunido montañas de datos sobre todo ello. Y el descubrimiento asombroso es que un conjunto sorprendentemente pequeño de leyes explica lo que vemos; la naturaleza resulta ser ordenada y, en el fondo, sencilla. El libro da un ejemplo de esa clase de ley: la energía puede cambiar de forma, pero nunca se pierde. Una bolsa de patatas fritas y la batería de un coche parecen no tener nada que ver, pero ambas guardan energía que puede convertirse en otras formas, y la misma ley une los alimentos, las baterías, el calor, la luz y un resorte con cuerda. Las calorías impresas en un paquete de aperitivos y la carga de la batería de su teléfono son dos asientos de la misma cuenta. Dicho de otro modo, la física no es una lista de datos para memorizar; es una lista corta de reglas que permite relacionar cosas que parecían no tener nada que ver entre sí.



La energía cambia de forma

Por eso el libro promete algo más que un recorrido por temas. Aprender a aplicar unas pocas leyes entrena una manera de pensar, un hábito analítico que llega mucho más allá de cualquier libro, a los estudios y a cualquier trabajo que usted elija. Por delante hay una breve historia de cómo la filosofía natural se convirtió en física, desde los antiguos pensadores de Oriente Medio y del Mediterráneo hasta Newton, y luego el sistema común de unidades que permite a los científicos de todas partes hablar un mismo lenguaje matemático. Al final llega la parte honesta: cuán exacta y cuán precisa puede ser una medición, y por qué los científicos ponen tanto cuidado en decir exactamente lo que no saben. Los detalles de cada cosa, desde qué estudia la física hasta en qué se diferencian las leyes, las teorías y los modelos, quedan para las partes que siguen.

Para recordar

La naturaleza es tremendamente variada en sus detalles, pero un pequeño conjunto de leyes físicas explica gran parte de ella. Las mismas fuerzas actúan en una estrella lejana que estalla y sobre la mesa de una cocina. Cada época de la técnica, de las herramientas de piedra a los transistores de un teléfono, nació de saber cómo se comportan los materiales. La ley de que la energía cambia de forma pero nunca se pierde una cosa tan distintas como los alimentos, las baterías y la luz. Lo que de verdad enseña la física es una manera de pensar que relaciona en lugar de memorizar.

Preguntas

1. ¿Por qué los científicos pueden aprender algo útil para la Tierra observando una nube como la nebulosa del Velo?
 - a. Porque las fuerzas que dan forma a la nube son las mismas que actúan en la Tierra
 - b. Porque la nube está lo bastante cerca como para visitarla y tomar muestras
 - c. Porque la nube está hecha de materiales que no existen en ningún lugar de la Tierra
 - d. Porque el espacio sigue sus propias reglas, que por casualidad se parecen a las nuestras

2. ¿Qué le permite hacer la ley de que la energía cambia de forma pero nunca se pierde?
 - a. Tratar los alimentos, las baterías y la luz como temas separados con reglas separadas
 - b. Relacionar cosas tan distintas como una bolsa de patatas fritas y la batería de un coche
 - c. Guardar energía para siempre sin usarla nunca
 - d. No tener que medir nada en absoluto
3. Según el libro, ¿qué es lo más valioso que le da estudiar física?
 - a. Una larga lista de datos sobre la naturaleza para memorizar
 - b. Una colección de fórmulas para la clase
 - c. Una manera de pensar que aplica unas pocas leyes mucho más allá de un libro
 - d. Una historia detallada de cada invento
4. ¿Por qué las grandes épocas de la historia llevan nombres de materiales como la piedra, el bronce y el hierro?
 - a. Porque eran los únicos materiales que tenía la gente
 - b. Porque los historiadores eligieron los nombres al azar
 - c. Porque cada material se descubrió en un solo año
 - d. Porque cada época se basó en saber cómo se comporta un material y cómo trabajarlo

Respuestas

1. a) Las mismas fuerzas actúan allá y aquí, ya sea en una estrella que estalla o cuando lanzamos un cohete o calentamos una casa.

- 2. b)** Tanto un aperitivo como una batería guardan energía que puede convertirse en otras formas, y una sola ley las une.
- 3. c)** Aprender a aplicar unas pocas leyes entrena un hábito analítico que llega a los estudios y a cualquier trabajo que usted elija.
- 4. d)** Cada época se definió por lo que la gente sabía de un material y de cómo darle forma, y ese saber es física.

Ejercicios

1. El libro dice que la naturaleza es enormemente variada, pero que un pequeño conjunto de leyes explica gran parte de ella. Elija dos cosas cotidianas que parezcan no tener relación y explique, con la ley de conservación de la energía, qué tienen en común.

Pista: Pregúntese dónde se guarda la energía en cada cosa y en qué puede convertirse.

Respuesta: Por ejemplo, un bocadillo y la batería de un teléfono: los dos guardan energía, el bocadillo como calorías de alimento y la batería como carga eléctrica. La ley de que la energía cambia de forma pero nunca se pierde dice que cada una puede convertirse en otras formas, como calor o movimiento, así que la misma regla describe a ambas.

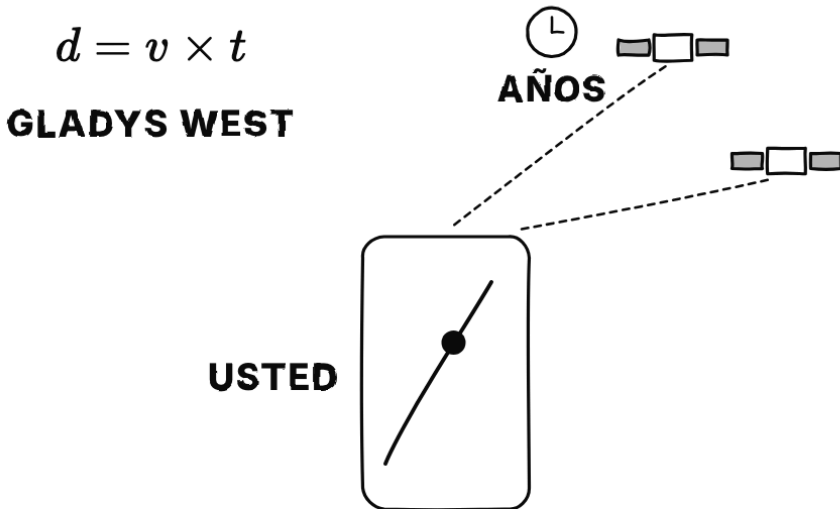
2. Explique con sus propias palabras por qué el libro eligió un interruptor diminuto, el MOSFET, como héroe de la era de la información.

Pista: Piense en cuántos se han fabricado y dónde se usan.

Respuesta: Poca gente ha oído hablar de él, pero se han fabricado más MOSFET que cualquier otro objeto de la historia, y están dentro de ordenadores, teléfonos, coches, microondas e instrumentos médicos. La electrónica moderna se construye sobre él, igual que las épocas anteriores se construyeron sobre la piedra, el bronce o el hierro.

Lo que abarca la física

Abra el mapa del teléfono y mire el puntito azul. Dé unos pasos y lo verá seguirle, aunque nada en su bolsillo puede ver la calle. ¿Cómo sabe un aparato dónde está usted, con un margen de unos pocos pasos? La respuesta, dice el libro, es la física, y el punto azul es una buena puerta para ver qué es realmente la física.



La física detrás del punto azul

La física estudia cómo la materia, la energía, el espacio y el tiempo actúan unos sobre otros, y sobre todo los mecanismos básicos que hay debajo de todo lo que ocurre en la naturaleza. Ese es todo su

territorio, y es enorme: desde diminutas partículas cargadas hasta personas, coches y naves espaciales, casi todo lo que le rodea puede describirse con bastante exactitud mediante sus leyes. Dentro de un teléfono inteligente, la física describe cómo se mueve la electricidad por los circuitos, y ese conocimiento permite a los ingenieros elegir los materiales y la disposición adecuados. El mapa del teléfono se apoya en una de las relaciones más sencillas de la física, el vínculo entre cuánto avanza algo, a qué velocidad y cuánto tarda. Para funcionar, el sistema tiene que tener en cuenta la forma del terreno, las distancias exactas a los satélites de arriba e incluso un efecto sutil por el que el propio tiempo transcurre allá arriba de forma ligeramente distinta. La mayoría de estos cálculos nació del trabajo de la matemática Gladys West, que programó los primeros ordenadores capaces de fijar posiciones en la Tierra con gran exactitud.

No hace falta ser científico para usar la física. Explica cómo calienta la comida un microondas y por qué nunca hay que meter metal dentro. Explica por qué un radiador negro ayuda a sacar el calor del motor de un coche y por qué un techo blanco mantiene la casa más fresca. También ayuda a juzgar los peligros de la radiación con calma y no por miedo. El mismo razonamiento explica el encendido de un coche y las señales eléctricas que recorren sus propios nervios.

La física es además el suelo sobre el que se apoyan otras ciencias. La química trata de átomos y moléculas, así que tiene sus raíces en la física del átomo; la mayor parte de la ingeniería es física puesta a trabajar; la arquitectura la necesita para levantar edificios sólidos y para su acústica, calefacción, iluminación y refrigeración. Los geólogos la usan para fechar rocas y estudiar terremotos, y campos enteros como la biofísica y la geofísica son mitad física de nacimiento. En medicina nos da los rayos X, la resonancia magnética, las

mediciones por ultrasonido del flujo sanguíneo y la radioterapia contra el cáncer. El libro señala aquí un parentesco discreto: un microondas y un escáner cerebral trabajan con el mismo tipo de ondas, uno para calentar comida y el otro para encontrar un tumor.

La conclusión del libro es que nadie necesita estudiar todas las aplicaciones. Lo que importa es conocer las leyes básicas y saber aplicarlas. Dicho de otro modo, la física guarda las partes más básicas de la ciencia, así que todas las demás ciencias la usan, y aprenderla las hace todas más fáciles. Los detalles, como el funcionamiento de cada uno de estos aparatos y los muchos ejemplos de la biología y de la medición, quedan para el resto del libro.

Para recordar

La física estudia cómo interactúan la materia, la energía, el espacio y el tiempo, y los mecanismos básicos detrás de todo fenómeno natural. Casi todo lo que le rodea, desde los circuitos de un teléfono hasta su mapa, puede describirse con sus leyes. Usted la usa sin ser científico: en un microondas, en un techo blanco, en el radiador de un coche. La química, la ingeniería, la arquitectura, la geología y la medicina se apoyan en ella. Lo que más cuenta es conocer las leyes básicas y saber aplicarlas, no memorizar cada uso.

Preguntas

1. ¿En qué relación de la física se apoya el mapa de un teléfono?

- a. En el vínculo entre cuánto avanza algo, a qué velocidad y cuánto tarda
 - b. En el vínculo entre el color de la luz y su temperatura
 - c. En el vínculo entre el peso de un teléfono y su batería
 - d. En el vínculo entre el tamaño de una pantalla y su brillo
2. ¿Por qué puede decirse que la química tiene sus raíces en la física?
- a. Porque los químicos usan el mismo material de laboratorio
 - b. Porque la química trata de átomos y moléculas, que describe la física atómica
 - c. Porque la química se inventó después de la física
 - d. Porque la física y la química solo comparten las unidades
3. ¿Qué tienen en común un microondas y un escáner cerebral?
- a. Los dos se usan solo en hospitales
 - b. Los dos funcionan calentando lo que tienen dentro
 - c. Los dos trabajan con el mismo tipo de ondas, con usos distintos
 - d. Los dos los inventó Gladys West
4. Según el libro, ¿qué es lo que más vale la pena aprender de la física?
- a. Cada una de sus aplicaciones en detalle
 - b. La historia de cada aparato
 - c. Los nombres de las ciencias que la usan
 - d. Las leyes básicas y la habilidad de aplicarlas

Respuestas

1. **a)** El posicionamiento se reduce a una de las relaciones más sencillas de la física: distancia, velocidad y tiempo.
2. **b)** La química estudia cómo interactúan los átomos y las moléculas, y eso se basa en la física del átomo.
3. **c)** Uno usa las ondas para calentar comida; el otro, para obtener una imagen y encontrar un tumor.
4. **d)** Nadie necesita estudiar todos los usos; lo que cuenta es conocer las leyes básicas y saber aplicarlas.

Ejercicios

1. El libro dice que la física es útil aunque usted no sea científico. Elija uno de sus ejemplos cotidianos, como el techo blanco o el radiador negro de un coche, y explique con sus palabras a qué pregunta responde la física sobre él.

Pista: Pregúntese qué le ocurre al calor en cada caso.

Respuesta: Los dos tratan del calor. La física explica por qué un techo blanco ayuda a mantener fresca una casa y por qué un radiador negro ayuda a sacar el calor del motor de un coche; el color de una superficie influye en cómo maneja el calor, y la física da la razón.

2. Nombre dos campos, aparte de la física, que según el libro se apoyan en ella, y diga qué les da la física a cada uno.

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

Respuesta: Por ejemplo, la geología usa la física para fechar rocas y estudiar terremotos, y la medicina la usa para los rayos X, la resonancia magnética, las mediciones por ultrasonido del flujo sanguíneo y la radioterapia contra el cáncer.

Modelos, teorías y leyes

Una mañana gira la llave del coche y no pasa nada. No se queda mirándolo sin más; empieza a hacer conjeturas. Quizá le falta aceite, así que abre el capó y mira la varilla, y el aceite está bien. Esa conjetura era errónea, y prueba la siguiente. Sin darse cuenta, acaba de aplicar el método en el que se apoya toda la ciencia.

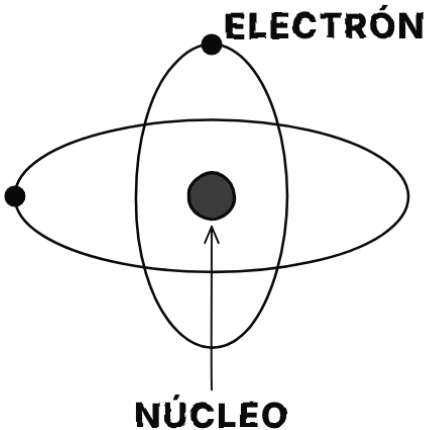
El libro empieza por el origen de las leyes de la naturaleza. Están inscritas en el universo: las personas no las hicieron y no pueden cambiarlas, solo descubrirlas y llegar a entenderlas. Lo que escribimos como ley es una formulación humana de una regla que todo proceso natural ya cumple. Encontrar esas reglas es una aventura muy humana, llena de imaginación, lucha, triunfo y decepción. A Isaac Newton hubo que convencerlo para que publicara su gran obra, y Marie Curie pagó sus primeras investigaciones con su propio dinero y su salud, y fue la única persona que ganó premios Nobel de física y de química. Debajo de todo hay una regla firme del juego: primero la observación, y la ciencia debe describir el mundo tal como es, no como nos gustaría que fuera.

Empieza con la curiosidad corriente, como preguntarse si cierto tipo de nube anuncia lluvia. Cuando nos lo tomamos en serio, reunimos y estudiamos los datos con cuidado, medimos con más exactitud, hacemos experimentos controlados donde podemos y buscamos cómo encajan los datos entre sí. De ese trabajo salen tres clases de resumen: modelos, teorías y leyes.

MODELO

TEORÍA

LEY



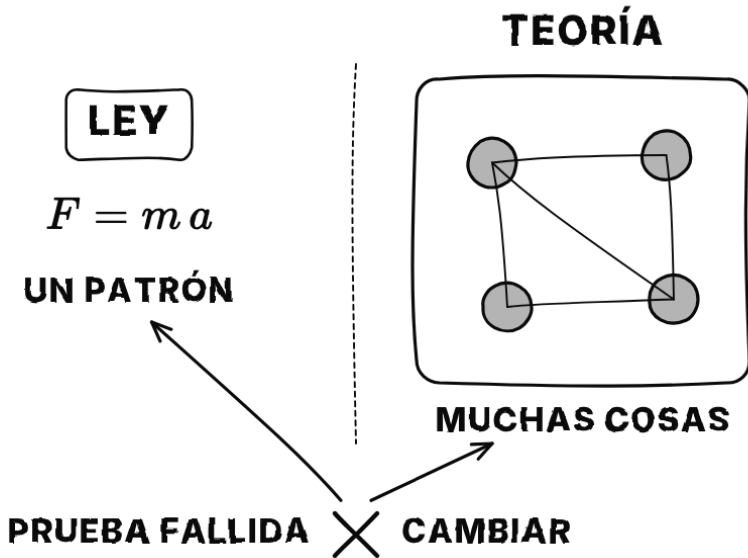
GAS CALIENTE

Un modelo del átomo

Un modelo es una imagen de algo que no podemos mostrar directamente. El más famoso es el átomo dibujado como un diminuto sistema solar, con los electrones girando alrededor del centro como los planetas alrededor del Sol. Nadie puede ver girar un electrón, pero la imagen ayuda a explicar lo que sí podemos ver, como los colores concretos de la luz que emite un gas caliente. Un modelo está respaldado por pruebas, pero solo funciona dentro de ciertos límites; los físicos usan modelos para pensar una situación, calcular o construir una simulación en un ordenador. El pronóstico del tiempo de su teléfono sale de un modelo así: el ordenador se imagina una atmósfera que nadie puede ver entera para decir qué hará después.

Para un científico, una teoría no es una suposición, por eso la frase «es solo una teoría» le suena absurda. Una teoría es una explicación comprobable de patrones de la naturaleza, respaldada por pruebas y confirmada muchas veces por distintos grupos de investigadores. Mientras que un modelo describe solo algunos rasgos de una cosa, una teoría debe dar cuenta de todo lo que está a su alcance, y cada consecuencia suya que pueda comprobarse debe confirmarse. Si un experimento muestra alguna vez que una de esas consecuencias es falsa, la teoría se descarta o se ajusta, por ejemplo reduciendo el abanico de casos que pretende cubrir. Unas teorías necesitan una imagen mental y otras no: la teoría de la gravedad de Newton no la necesita, porque podemos ver directamente los cuerpos que caen y orbitan, mientras que la teoría de los gases imagina un gas como innumerables átomos y moléculas demasiado pequeños para verse.

Una ley es la más breve de las tres: un enunciado corto y muy general de un patrón de la naturaleza, respaldado por pruebas y experimentos repetidos, a menudo escrito como una sola ecuación. La ley de que la energía se conserva en cualquier proceso es una; la segunda ley de Newton, que une fuerza, masa y aceleración, es otra. Una teoría, en cambio, es demasiado grande y rica para caber en una línea, como la teoría de la evolución o la teoría de la relatividad. Dicho de forma sencilla, una ley describe un tipo de acción, mientras que una teoría explica toda una familia de fenómenos relacionados; la ley está al comienzo del razonamiento científico, la teoría es adonde llega. Las reglas más estrechas, que solo valen en situaciones especiales, suelen llamarse principios, aunque la frontera entre leyes y principios a menudo no se traza con cuidado.

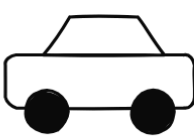


Ley frente a teoría

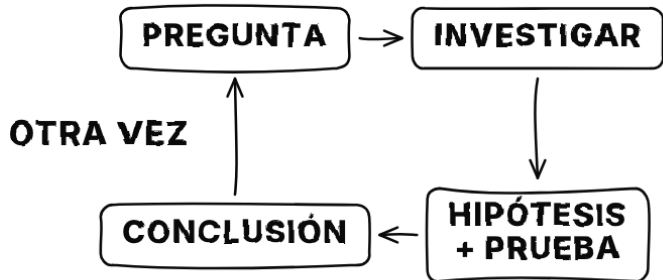
Estas ideas hacen algo más que ordenar datos viejos. A menudo un modelo, una teoría o una ley apuntan a los científicos hacia cosas que nadie ha visto aún, y esas predicciones están entre los grandes triunfos de la ciencia, posibles solo porque el universo es ordenado. Pero si el experimento no confirma una predicción, la teoría o la ley es errónea, por elegante o cómoda que sea. Ninguna ley puede conocerse con certeza absoluta, porque nadie puede probar todos los experimentos posibles; los físicos consideran válidas las leyes hasta que un experimento sólido y repetible las contradice, y entonces la ley debe cambiarse o abandonarse.

La manera de trabajar que hay detrás de todo esto tiene una larga historia. Hace mil años, en El Cairo, Ibn al-Haytham, que hizo

avanzar mucho el estudio de la luz y la visión, pedía a los científicos ser enemigos de todo lo que leyeran, confiar solo en pruebas objetivas y comprobar una y otra vez, sabiendo que los sentidos y nuestras propias expectativas pueden engañarnos. Su enfoque llevó hacia lo que hoy llamamos el método científico: notar algo y hacerse una pregunta, investigarlo, proponer una explicación, ponerla a prueba con un experimento, luego estudiar el resultado y sacar una conclusión. Eso es exactamente lo que usted hizo con el coche que no arrancaba: la hipótesis del aceite no pasó la prueba, así que formuló otra y dio otra vuelta. El método funciona mucho más allá de la ciencia, y puede adaptarse al problema. Esta parte no cuenta cómo estas ideas crecieron históricamente desde la filosofía natural hasta la física moderna; esa historia viene después.



NO ARRANCA ACEITE BIEN



El método como un ciclo

Para recordar

Las leyes de la naturaleza se descubren, no se inventan, y lo primero es observar el mundo tal como es. Un modelo es una imagen de algo que no podemos ver directamente, útil solo dentro de ciertos límites. Una teoría es una explicación bien comprobada de toda una familia de fenómenos; una ley es un enunciado breve y general de un patrón, a menudo una sola ecuación. Toda teoría y toda ley siguen siendo válidas solo hasta que un experimento fiable las contradice. El método científico, observar, suponer, comprobar, concluir y volver a intentarlo, es lo que usted ya hace cuando un coche no arranca.

Preguntas

1. ¿Por qué a un científico le suena absurdo que alguien diga «es solo una teoría»?
 - a. Porque los científicos nunca usan la palabra teoría
 - b. Porque para un científico una teoría es una explicación bien comprobada, no una suposición
 - c. Porque toda teoría ya es una ley
 - d. Porque las teorías no pueden comprobarse
2. ¿Qué le pasa a una ley bien establecida si un experimento sólido y repetible la contradice?
 - a. La ley debe cambiarse o abandonarse
 - b. Se ignora el experimento porque la ley es más antigua

- c. La ley pasa a ser un modelo
 - d. Nada, porque las leyes se conocen con certeza absoluta
3. ¿Por qué necesitamos un modelo del átomo, pero no de una manzana que cae?
- a. Porque las manzanas no obedecen leyes físicas
 - b. Porque el átomo no sigue ninguna teoría
 - c. Porque el átomo es demasiado pequeño para verse directamente, mientras que un cuerpo que cae puede observarse
 - d. Porque los modelos solo se usan para seres vivos
4. ¿Cuál es la diferencia principal entre una ley y una teoría?
- a. Una ley es una suposición; una teoría está demostrada
 - b. Una ley es más antigua que cualquier teoría
 - c. Una teoría siempre lleva una ecuación; una ley nunca
 - d. Una ley enuncia brevemente un patrón; una teoría explica toda una familia de fenómenos relacionados

Respuestas

1. **b)** Una teoría es una explicación comprobable de patrones de la naturaleza, respaldada por pruebas y confirmada muchas veces por distintos investigadores.
2. **a)** Ninguna ley puede conocerse con certeza absoluta; las leyes valen solo hasta que un experimento fiable las contradice.
3. **c)** Un modelo representa lo que no podemos ver; la gravedad de Newton no necesita imagen porque podemos observar los propios cuerpos.
4. **d)** Una ley describe un tipo de acción, a menudo como una sola ecuación, mientras que una teoría es demasiado rica para caber en una línea.

Ejemplos resueltos

El coche que no arranca Gira la llave y el coche no arranca. Siga el método científico para buscar la causa, poniendo a prueba la idea de que no tiene aceite de motor.

Observar y preguntar: el coche no arranca, así que la pregunta es por qué.

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

Proponer una hipótesis: quizá el coche no tiene aceite de motor.

Comprobarla: abra el capó y mire el nivel de aceite; está en un nivel aceptable.

Concluir: el aceite no es la causa, así que formule una nueva hipótesis y recorra el ciclo otra vez.

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

Ejercicios

1. Clasifique estos casos como modelo, teoría o ley, y diga por qué: (a) la energía se conserva en cualquier proceso; (b) el átomo imaginado como un diminuto sistema solar; (c) la teoría de la evolución.

Pista: Pregúntese de cada uno: ¿es una imagen de algo invisible, un enunciado breve y general, o una gran explicación de muchos fenómenos relacionados?

Respuesta: (a) es una ley: un enunciado corto y muy general de un patrón. (b) es un modelo: una imagen de algo demasiado pequeño para verse, útil dentro de ciertos límites. (c) es una teoría: una explicación de toda una familia de fenómenos, demasiado rica para enunciarse en una línea.

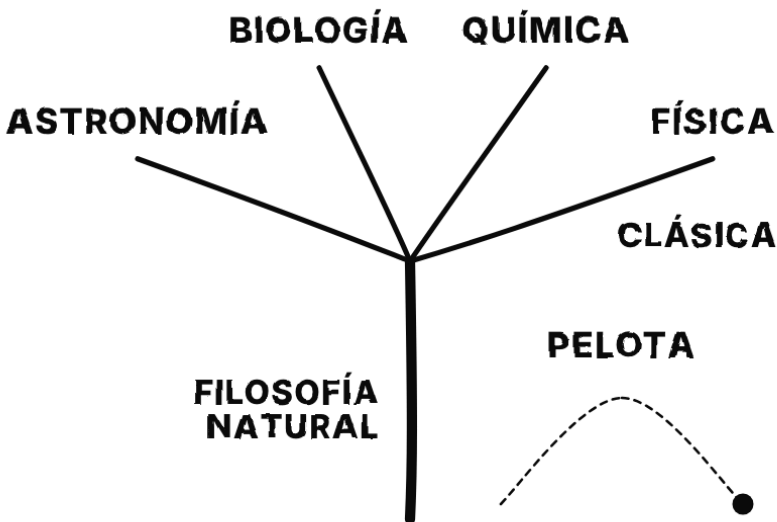
2. ¿Por qué ninguna ley de la física puede conocerse nunca con certeza absoluta? Explíquelo en unas pocas frases.

Pista: Piense en cuántos experimentos haría falta para comprobar una ley en todos los casos posibles.

Respuesta: Para estar completamente seguro, habría que comprobar una ley en todas las situaciones imaginables, lo cual es imposible. Por eso los físicos consideran válida una ley hasta que un buen experimento repetible la contradice, y entonces la ley se cambia o se abandona.

De la filosofía natural a la física moderna

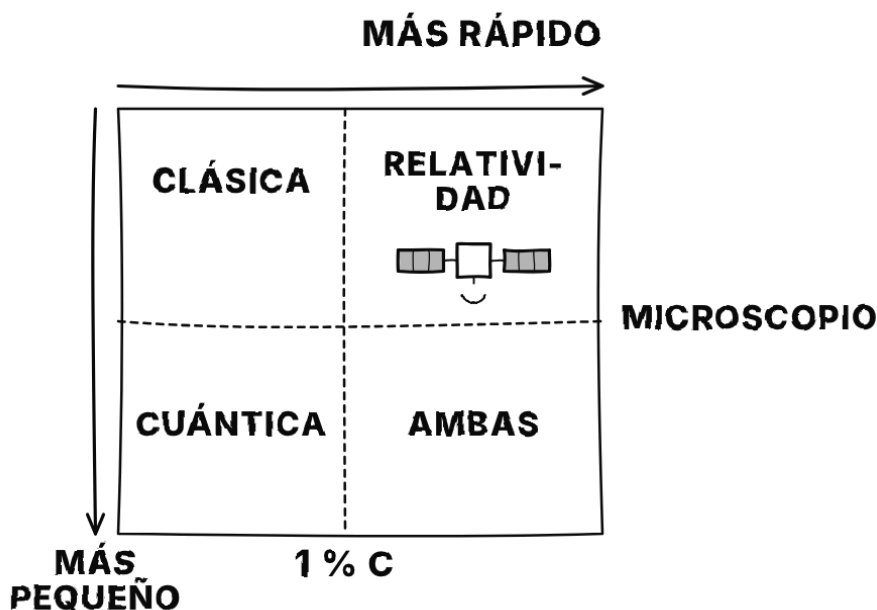
Lance una pelota de un lado a otro de la habitación y podrá predecir su trayectoria casi a la perfección con reglas de hace trescientos años. Ahora pregunte a esas mismas reglas por un electrón dentro de un átomo, o por una nave espacial que pasa a toda velocidad cerca del Sol, y empezarán a dar respuestas equivocadas. ¿Por qué unas buenas reglas habrían de fallar de pronto? La respuesta la da la propia historia de la física.



La filosofía natural se ramifica

La física no siempre fue una materia aparte. La palabra viene del griego naturaleza, y durante mucho tiempo el estudio de la naturaleza se llamó filosofía natural, un único campo amplio que reunía la astronomía, la biología, la química, la física, las matemáticas y la medicina. Aristóteles escribió a la vez sobre física, animales, el alma, la política y la poesía. En los últimos siglos el conocimiento creció tanto que la filosofía natural se dividió en ramas separadas, y la física se quedó con la parte más básica. Ibn al-Haytham y Galileo estuvieron en los momentos decisivos; mucho después, Niels Bohr ayudó a levantar uno de los pilares de la nueva física del siglo veinte.

La física desde el Renacimiento hasta finales del siglo diecinueve se llama física clásica, y los descubrimientos revolucionarios que empezaron hacia 1900 la convirtieron en física moderna. La física clásica no es una descripción exacta del universo, pero es una aproximación excelente en tres condiciones: las cosas se mueven a menos de un uno por ciento de la velocidad de la luz, son lo bastante grandes para verse con un microscopio y la gravedad es débil, como la de la Tierra. Como vivimos justo en esas condiciones, la física clásica nos parece natural, mientras que buena parte de la física moderna nos resulta extraña. Por eso los modelos importan tanto en la física moderna: nos dejan imaginar lo que nunca vivimos, como el movimiento muy rápido o las cosas demasiado pequeñas para verse. También ayudan los nuevos instrumentos; un microscopio especial puede mostrar ya los átomos sueltos de una lámina de oro.



Qué teoría dónde

La física moderna se apoya en dos teorías revolucionarias. La relatividad trata de lo muy rápido y de la gravedad intensa, y la mecánica cuántica, de lo muy pequeño. Juntas forman la mecánica cuántica relativista, la teoría de validez más universal que tenemos, pero es tan exigente en matemáticas que solo se usa cuando nada más sencillo sirve. Los satélites que hay detrás del mapa de su teléfono son un caso real en que las reglas de todos los días no bastan del todo, y por eso el sistema tiene que corregir el sutil efecto sobre el tiempo mencionado antes.

Entonces, ¿por qué la mayor parte del libro se queda con la física clásica? Por dos razones: describe extraordinariamente bien la vida diaria, y sin ella no se puede entender la física moderna. El libro

ofrece también una prueba rápida de las ideas anteriores: si un amigo ha aprendido una ley nueva, usted ya sabe que será un enunciado breve de una regla que la naturaleza siempre cumple; si es una teoría, sabe que será una explicación amplia de toda una familia de fenómenos. Cómo mide la física, con sus unidades y patrones acordados, queda para las partes siguientes.

Para recordar

La física nació de la filosofía natural, un estudio único de la naturaleza que se dividió en ciencias separadas, y la física se quedó con la parte más básica. La física clásica funciona de maravilla mientras las cosas sean lentas, lo bastante grandes para verse con un microscopio y la gravedad sea débil. Fuera de esos límites necesitamos la física moderna: la relatividad para lo muy rápido y la gravedad intensa, la mecánica cuántica para lo muy pequeño. La física clásica sigue siendo el núcleo del libro porque describe muy bien la vida diaria y la física moderna se construye sobre ella.

Preguntas

1. ¿Por qué la física clásica nos parece natural, mientras que la física moderna a menudo nos parece extraña?
 - a. Porque la física clásica es exacta y la moderna es solo una suposición

- b. Porque vivimos donde las cosas son lentas, lo bastante grandes para verse y con gravedad débil, justo donde funciona la física clásica
 - c. Porque la física moderna la inventaron filósofos y no científicos
 - d. Porque la física clásica es más nueva y está mejor comprobada
2. ¿Qué teoría hay que usar para una nave espacial que pasa muy cerca del Sol a gran velocidad?
- a. La relatividad, por la gravedad intensa y la gran velocidad
 - b. La mecánica cuántica, porque la nave es muy pequeña
 - c. La física clásica, porque la nave se puede ver
 - d. Ninguna, porque ninguna teoría abarca el Sol
3. ¿Por qué la mayor parte del libro se queda con la física clásica aunque la física moderna sea más exacta?
- a. Porque se ha demostrado que la física moderna es falsa
 - b. Porque la física moderna solo trata de ciencia ficción
 - c. Porque describe extraordinariamente bien la vida diaria y sin ella no se puede entender la física moderna
 - d. Porque la mecánica cuántica relativista es demasiado nueva para enseñarse
4. ¿Qué le ocurrió a la filosofía natural a medida que crecía el conocimiento?
- a. Se abandonó y fue sustituida por completo por las matemáticas
 - b. Se fusionó con la medicina en una sola ciencia

- c. Siguió siendo un único campo que aún lo abarca todo
- d. Se dividió en ciencias separadas, y la física se quedó con la parte más básica

Respuestas

1. **b)** La física clásica es una aproximación excelente justo en las condiciones de la vida diaria, así que encaja con nuestra experiencia.
2. **a)** La relatividad trata de lo muy rápido y de la gravedad intensa, como la que hay cerca del Sol.
3. **c)** La física clásica es exacta en las circunstancias de cada día, y conocerla es necesario para entender la física moderna.
4. **d)** En los últimos siglos la filosofía natural se ramificó en campos separados, y la física conservó los aspectos más básicos.

Ejemplos resueltos

La nueva ley de un amigo Un amigo dice que ha aprendido una nueva ley de la naturaleza. ¿Qué puede saber de ella antes de que se la describa, y qué cambiaría si hubiera aprendido una teoría?

Recuerde qué es toda ley: un enunciado breve de una regla que siguen todos los procesos naturales.

Así que, sin los detalles, usted sabe que la ley de su amigo será una descripción corta de cómo se comporta siempre la naturaleza.

Recuerde qué es una teoría: una explicación amplia de toda una familia de fenómenos relacionados.

Así que, si fuera una teoría, esperaríamos una explicación de gran alcance y aplicación amplia, no una sola regla breve.

Respuesta: Una ley será un enunciado conciso de una regla que la naturaleza siempre cumple; una teoría sería una explicación amplia que

abarca todo un grupo de fenómenos relacionados.

Ejercicios

1. En cada caso, diga si basta la física clásica o qué parte de la física moderna hace falta, y por qué: (a) una pelota lanzada de un lado a otro de una habitación; (b) un electrón dentro de un átomo; (c) un objeto que se mueve a una décima parte de la velocidad de la luz.

Pista: Compruebe las tres condiciones: más lento que alrededor del uno por ciento de la velocidad de la luz, lo bastante grande para verse con un microscopio, gravedad débil.

Respuesta: (a) Física clásica: la pelota es lenta, visible y está en la gravedad débil de la Tierra. (b) Mecánica cuántica: el electrón es demasiado pequeño para verse con un microscopio. (c) Relatividad: una décima parte de la velocidad de la luz está muy por encima del uno por ciento.

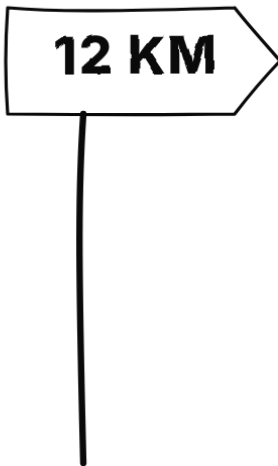
2. ¿Por qué los modelos son especialmente útiles en la física moderna? Explíquelo en unas pocas frases.

Pista: Piense en qué trata la física moderna y si alguna vez lo vivimos directamente.

Respuesta: La física moderna trata de cosas que nunca encontramos en la vida diaria, como el movimiento muy rápido o los objetos demasiado pequeños para verse. Los modelos nos permiten imaginar esas cosas en términos humanos, como cuando nos figuramos un átomo que nunca hemos visto con nuestros ojos.

Por qué necesitamos unidades acordadas

Imagine una señal de carretera que dice solo: «Pueblo, 12». ¿Doce qué? ¿Millas, kilómetros, minutos a pie? Sin la unidad, el número no sirve de nada, y el libro hasta muestra una viñeta que dice justo eso. Esta parte trata de por qué la física no puede funcionar sin unidades en las que todos estén de acuerdo, y de dónde salen las dos más básicas.



12 PASOS

-

12 CUADRAS

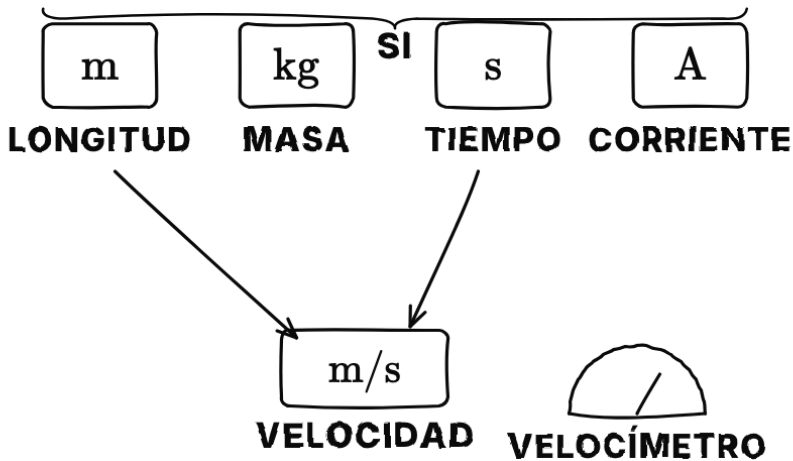
—

12 MILLAS

—————

¿Doce qué?

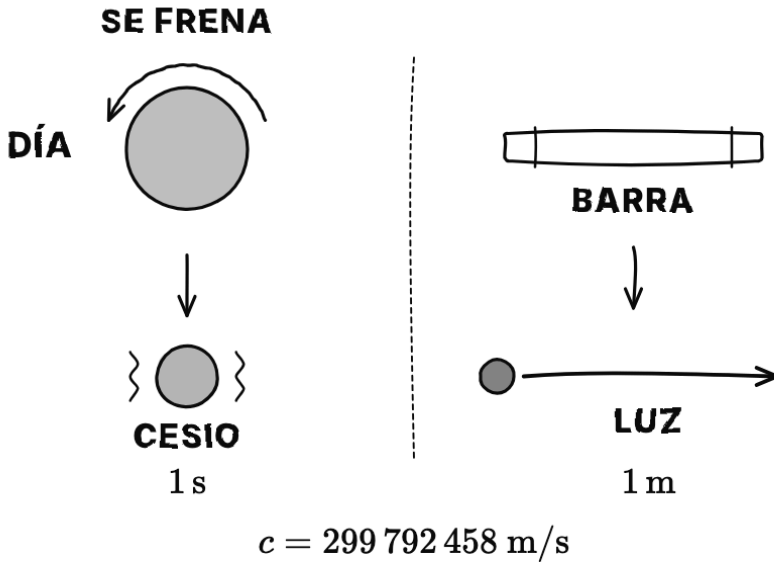
La física trabaja con una enorme gama de tamaños y tiempos: desde la vida fugaz de un núcleo atómico hasta la edad de la Tierra, desde partículas menores que un núcleo hasta el borde del universo conocido, desde el empujón de una pulga que salta hasta la atracción entre la Tierra y el Sol. Poner números a estas cosas, en lugar de solo describirlas con palabras, nos permite entender la naturaleza mucho más a fondo. Pero los números solo significan algo si van acompañados de unidades aceptadas. Y aquí la naturaleza vuelve a mostrar su sencillez: casi toda magnitud de la física puede construirse con solo cuatro básicas, longitud, masa, tiempo e intensidad de corriente eléctrica.



Cuatro unidades básicas, muchas derivadas

Una magnitud física se define de una de dos maneras: o diciendo cómo medirla, como la distancia y el tiempo, o diciendo cómo calcularla a partir de otras medidas, como la velocidad media, que es la distancia recorrida dividida por el tiempo empleado. Cada medida se expresa luego en unidades, cantidades estándar, como metros para un esprint o kilómetros para una carrera de fondo. En el mundo se usan dos sistemas: el sistema métrico internacional, llamado SI por su nombre en francés, y las antiguas unidades inglesas o imperiales, todavía comunes en Estados Unidos. Casi todos los demás países, y los científicos de todas partes, usan el SI. Las cuatro unidades básicas del SI son el metro para la longitud, el kilogramo para la masa, el segundo para el tiempo y el amperio para la corriente eléctrica; toda otra unidad, de velocidad, de fuerza o de carga eléctrica, se construye con ellas y se llama unidad derivada.

El segundo era antes una fracción de un día medio, pero el giro de la Tierra se va frenando poco a poco, así que el día se alarga y no sirve como patrón fijo. Desde 1967 el segundo está ligado, en cambio, a las vibraciones regulares de los átomos de cesio, contadas por relojes atómicos que se desvían menos de una millonésima de segundo al año. Su teléfono ajusta discretamente su reloj con redes que a su vez se basan en ese tiempo atómico. El metro tiene una historia parecida: primero una fracción de la distancia del ecuador al Polo Norte, luego la separación entre dos marcas de una barra de metal guardada cerca de París, después un número de longitudes de onda de luz y, desde 1983, la distancia que recorre la luz en el vacío en una fracción diminuta y fija de segundo. Esta última elección fija la velocidad de la luz en un número exacto de metros por segundo.



El segundo y el metro, exactos

¿Por qué tanto cuidado? Porque toda medida en física se expresa al final mediante estas unidades básicas, y ninguna medida puede ser más exacta que las propias unidades. El kilogramo, los prefijos que extienden las unidades a lo largo de muchas potencias de diez y cómo pasar de una unidad a otra quedan para las partes siguientes.

Para recordar

Un número sin una unidad acordada no dice nada. Casi toda la física se construye con cuatro magnitudes básicas: longitud, masa, tiempo y corriente eléctrica, medidas en metros, kilogramos, segundos y amperios. Todas las demás unidades derivan de estas cuatro. El segundo lo fijan hoy los relojes atómicos, y el metro, lo que recorre la luz en una fracción fija de segundo. Las medidas nunca pueden ser más exactas que las unidades básicas en que se apoyan.

Preguntas

1. ¿Por qué el segundo dejó de definirse como una fracción del día medio?
 - a. Porque el día se alarga poco a poco al frenarse el giro de la Tierra, así que no es un patrón fijo
 - b. Porque los días duran distinto en distintos países
 - c. Porque los relojes no podían contar tantas partes de un día
 - d. Porque se descubrió que el día era exactamente una hora más corto de lo que se creía
2. ¿Por qué ninguna medida puede ser más exacta que las unidades fundamentales?
 - a. Porque las unidades fundamentales son solo estimaciones aproximadas

- b. Porque toda medida se expresa al final mediante esas unidades
 - c. Porque los instrumentos de medida siempre fallan
 - d. Porque las unidades derivadas son más exactas que las fundamentales
3. ¿Cuál de estas es una unidad derivada y no una fundamental?
- a. El metro
 - b. El segundo
 - c. La unidad de velocidad
 - d. El amperio
4. Desde 1983, ¿en qué se basa el metro?
- a. En una fracción de la distancia del ecuador al Polo Norte
 - b. En la separación entre dos marcas de una barra de metal cerca de París
 - c. En las vibraciones de los átomos de cesio
 - d. En la distancia que recorre la luz en el vacío en una fracción diminuta y fija de segundo

Respuestas

- 1. a)** Un patrón no debe cambiar, y el día solar se va alargando, así que el segundo se ligó en su lugar a las vibraciones regulares del cesio.
- 2. b)** Todas las medidas se apoyan en las unidades básicas, así que su exactitud pone el límite a todo lo que se construye sobre ellas.
- 3. c)** La velocidad se construye con la longitud y el tiempo, así que su unidad es derivada; el metro, el segundo, el kilogramo y el amperio son las cuatro unidades fundamentales.

4. d) El metro es hoy la distancia que recorre la luz en el vacío en $1/299\,792\,458$ de segundo, lo que fija exactamente la velocidad de la luz.

Ejemplos resueltos

Cuánto avanza la luz en una millonésima de segundo El metro se define de modo que la luz en el vacío recorre exactamente $299\,792\,458$ metros en un segundo. ¿Qué distancia recorre la luz en una millonésima de segundo?

La distancia recorrida es la velocidad multiplicada por el tiempo, como dice la figura del libro sobre el metro.

La velocidad es de $299\,792\,458$ metros por segundo y el tiempo, una millonésima de segundo.

Multiplicar por una millonésima desplaza la coma seis lugares: $299\,792\,458$ pasa a ser $299,792458$.

Así que la distancia es de unos 300 metros.

Respuesta: Unos 300 metros ($299,79$ metros).

Ejercicios

1. La velocidad media se define como la distancia recorrida dividida entre el tiempo del recorrido. Una corredora recorre 10 kilómetros en 50 minutos. ¿Cuál es su velocidad media en kilómetros por minuto?

Pista: Divida la distancia entre el tiempo y mantenga juntas las unidades.

Respuesta: 0,2 kilómetros por minuto: 10 kilómetros divididos entre 50 minutos.

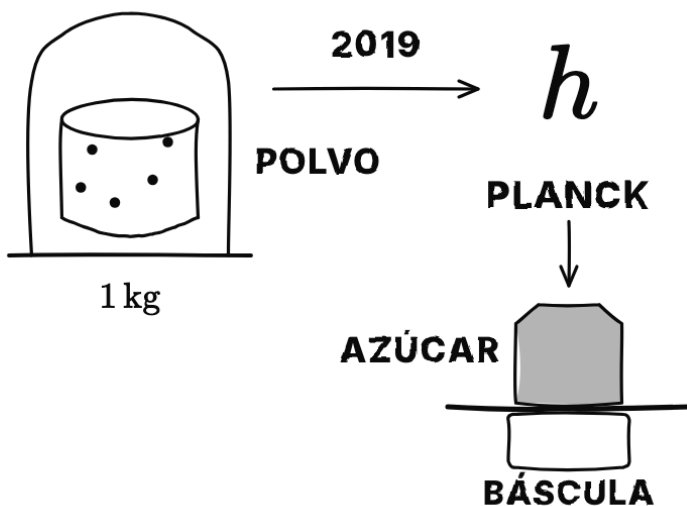
2. Antes de 1967 el segundo era $1/86\,400$ de un día medio. ¿Cuántos segundos tiene un día y por qué tiene sentido que tenga tantos? (Un día tiene 24 horas y una hora, 60 minutos.)

Pista: Cuente primero los segundos de una hora.

Respuesta: 86 400 segundos: una hora tiene $60 \times 60 = 3600$ segundos,
y $24 \times 3600 = 86\,400$.

El kilogramo y los prefijos

Ponga una bolsa de azúcar en una báscula de cocina y marcará un kilogramo. Pero ¿cómo sabe la báscula qué es un kilogramo? En algún lugar, al final de una larga cadena de comparaciones, tiene que haber un kilogramo maestro, y durante más de un siglo ese patrón fue un pequeño cilindro de metal guardado en una cámara cerca de París. Toda báscula de baño y toda balanza de farmacia se comparaban, en último término, con ese único trozo de metal.



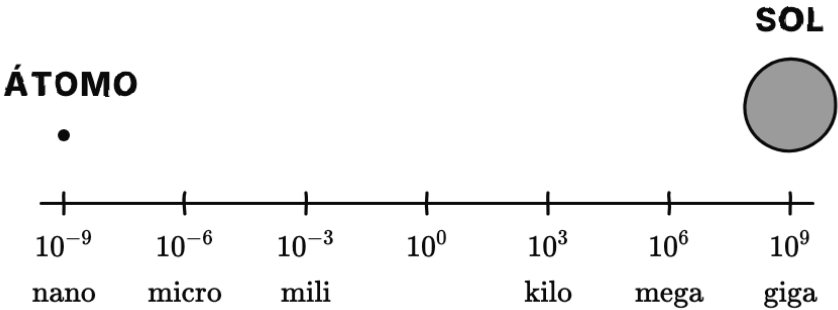
El kilogramo deja su cilindro

El cilindro estaba hecho de platino e iridio y se guardaba con la antigua barra del metro en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, con copias exactas en lugares como el instituto estadounidense de normas cerca de Washington. No se oxidaba, pero diminutos restos de suciedad del aire se iban posando en su superficie y cambiaban muy ligeramente su masa con los años. Un patrón que se desvía es un mal patrón, así que en mayo de 2019 los científicos adoptaron una definición nueva y más estable. Hoy el kilogramo se define mediante el segundo, el metro y una constante fija de la naturaleza que viene de la física cuántica, la constante de Planck, que relaciona la energía de una partícula de luz con su frecuencia.

Detrás de esto hay un deseo más amplio que el libro describe. A los físicos les gustaría que cada unidad básica se apoyara en las piezas más pequeñas de la naturaleza y en rasgos fijos del universo como la velocidad de la luz, y no en objetos guardados en una cámara. El tiempo ya lo hace, mediante las vibraciones regulares de los átomos de cesio, y la longitud se apoya ahora en la velocidad de la luz. La corriente eléctrica, la cuarta magnitud básica, llegará mucho más adelante en el libro; los primeros capítulos sobre el movimiento, los fluidos, el calor y las ondas solo necesitan longitud, masa y tiempo.

La segunda mitad de la parte trata de la gran comodidad del sistema métrico: sus unidades suben y bajan en factores de diez. Hay cien centímetros en un metro y mil metros en un kilómetro, mientras que el sistema antiguo tiene doce pulgadas en un pie y cinco mil doscientos ochenta pies en una milla. Un prefijo corto delante de una unidad indica el factor: kilo significa mil, mili una milésima, micro una millonésima, nano una milmillonésima, y así sucesivamente, desde cosas tan enormes como la distancia que recorre la luz en un siglo hasta el tiempo que tarda la luz en cruzar un átomo. Así una sola

unidad sirve para todas las escalas: metros para construir, kilómetros para los viajes en avión, nanómetros para diseñar lentes, sin necesidad de inventar unidades nuevas. La misma idea funciona cuando la memoria del teléfono se cuenta en gigabytes o la dosis de un medicamento en miligramos.



Prefijos a lo largo de las potencias de diez

Pensar en potencias de diez da además una forma rápida de juzgar el tamaño, llamada orden de magnitud: una idea aproximada de la escala. Ochocientos y cuatrocientos cincuenta son números distintos, pero los dos son «centenas», así que comparten orden de magnitud. Un átomo mide aproximadamente una diezmilmillonésima de metro, mientras que el Sol mide aproximadamente mil millones de metros, y la distancia entre esos órdenes de magnitud dice más que cualquier

larga lista de cifras. La tabla completa de prefijos y los detalles de la conversión entre unidades quedan para las partes siguientes.

Para recordar

El kilogramo era antes un cilindro de metal cerca de París, pero la suciedad del aire fue cambiando poco a poco su masa. Desde 2019 el kilogramo se define mediante el segundo, el metro y la constante de Planck, un número fijo de la naturaleza. Los físicos quieren que cada unidad básica se apoye en las piezas más pequeñas de la naturaleza y en constantes que no cambian. Las unidades métricas avanzan en factores de diez, y un prefijo como kilo, mili o nano indica qué factor. El orden de magnitud es una idea rápida y aproximada de lo grande que es algo.

Preguntas

1. ¿Por qué se sustituyó el antiguo kilogramo de metal como patrón?
 - a. Porque se perdió en una mudanza desde París
 - b. Porque diminutos restos de suciedad del aire se posaban en él y cambiaban poco a poco su masa
 - c. Porque se oxidó por completo
 - d. Porque era demasiado pesado para usarlo
2. ¿Qué hace que las conversiones métricas sean más fáciles que las del sistema antiguo?

- a. Las unidades métricas son siempre más pequeñas
 - b. Las unidades métricas no tienen nombre
 - c. Las unidades métricas solo cambian en factores de diez
 - d. Las unidades métricas solo las usan los científicos
3. ¿Por qué se dice que 800 y 450 tienen el mismo orden de magnitud?
- a. Porque los dos están en las centenas, la misma potencia de diez
 - b. Porque se diferencian en menos de diez
 - c. Porque los dos son números pares
 - d. Porque los dos se pueden dividir entre cincuenta
4. ¿En qué esperan los físicos basar cada unidad básica?
- a. En objetos guardados en una cámara cerca de París
 - b. En la duración de un día
 - c. En el tamaño de la Tierra
 - d. En las piezas más pequeñas de la naturaleza y en sus constantes inmutables

Respuestas

1. **b)** Aunque no se oxidaba, la suciedad del aire se pegaba a su superficie, así que el patrón se desviaba y hacía falta una definición más estable.
2. **c)** Cien centímetros forman un metro y mil metros un kilómetro, mientras que el sistema antiguo usa doce pulgadas por pie y 5280 pies por milla.
3. **a)** El orden de magnitud es la escala aproximada, la potencia de diez, y los dos números son centenas.

4. d) Quieren patrones que se apoyen en las partes más pequeñas de la naturaleza y en rasgos fijos como la velocidad de la luz, como ya hacen el tiempo y la longitud.

Ejemplos resueltos

El mismo orden de magnitud Demuestre que 800 y 450 tienen el mismo orden de magnitud.

Orden de magnitud significa la potencia de diez que fija la escala de un número.

800 es 8 veces cien, es decir, 8×10^2 .

450 es 4,5 veces cien, es decir, $4,5 \times 10^2$.

Los dos llevan la misma potencia de diez, cien, así que comparten el orden de magnitud 10^2 .

Respuesta: Los dos son del orden de 10^2 , es decir, centenas.

Ejercicios

1. ¿Cuántos metros hay en 3 kilómetros y cuántas pulgadas hay en una milla? Compare lo fácil que es cada conversión.

Pista: Use 1000 metros por kilómetro; para la milla, 12 pulgadas por pie y 5280 pies por milla.

Respuesta: 3 kilómetros son 3000 metros, solo un desplazamiento de una potencia de diez. Una milla son $12 \times 5280 = 63\,360$ pulgadas, lo que exige una multiplicación de verdad. Por eso las conversiones métricas son más sencillas.

2. Un átomo mide alrededor de una diezmilmillonésima de metro, y el Sol alrededor de mil millones de metros. ¿En cuántas potencias de diez se diferencian estos órdenes de magnitud?

Pista: Escriba cada uno como potencia de diez: una diezmilmillonésima es diez a la menos diez, mil millones es diez a la nueve.

Respuesta: En diecinueve potencias de diez: de diez a la menos diez hasta diez a la nueve hay $9 + 10 = 19$ pasos.

De un protón al universo, y de vuelta a los metros

Sostenga un solo grano de arena en la yema del dedo. Mide alrededor de un milímetro, una milésima de metro. Ahora piense en un protón, el núcleo de un átomo de hidrógeno: es todavía un billón de veces más pequeño. Y piense en el borde del universo conocido, que está a una distancia que, en metros, se escribe como un uno seguido de veintiséis ceros. La idea del libro en esta parte es sencilla y vertiginosa: la física tiene que hablar de todo eso con el mismo pequeño conjunto de unidades.

Para dar una idea de esa gama, el libro presenta una larga tabla de longitudes, masas y tiempos conocidos, cada uno dado solo por su orden de magnitud. En longitud, sube desde el detalle más pequeño que ven los experimentos, pasando por el tamaño de un protón y de un átomo, el grosor de la membrana de una célula, un grano de arena, un niño pequeño, un campo de fútbol, la fosa oceánica más profunda, la Tierra, la distancia al Sol, un año luz, nuestra galaxia y, por último, los bordes del universo conocido. En masa, va desde el electrón, pasando por un átomo de hidrógeno, una bacteria, un mosquito, un colibrí, un litro de agua de aproximadamente un kilogramo, una persona, un coche, un barco, un iceberg, la Luna, la Tierra, el Sol, nuestra galaxia, hasta todo el universo conocido. En tiempo, empieza con el instante que tarda la luz en cruzar un protón y pasa por la oscilación de una onda de luz, un impulso nervioso de alrededor de una milésima de segundo, un latido de alrededor de un segundo, un día, un año, una vida humana, la historia escrita, la edad de la Tierra y la edad del universo. Dos fotografías enmarcan la tabla: diminuto

plancton marino entre cristales de hielo, de unos pocos micrómetros a dos milímetros de largo, y dos galaxias que chocan a más de dos mil millones de años luz. Esa gama, dice el libro, desafía la imaginación.

Con tantos tamaños, tenemos que pasar constantemente de una unidad a otra. Una receta europea da la leche en litros y usted quiere tazas; un mapa da un paseo en pies y usted quiere millas; el prospecto de un medicamento da una dosis en miligramos y usted quiere saber cuánto es en gramos. El método que enseña el libro se llama conversión de unidades, y se basa en una sola idea, el factor de conversión. Un factor de conversión es solo una razón que dice cuántas unidades de un tipo forman otra: doce pulgadas en un pie, cien centímetros en un metro, sesenta segundos en un minuto, mil metros en un kilómetro. Se escribe lo que se tiene, se multiplica por el factor de conversión colocado de modo que la unidad no deseada se cancele, y queda la unidad que se busca. El primer ejemplo del libro convierte ochenta metros en kilómetros: los metros se cancelan y quedan ocho centésimas de kilómetro.

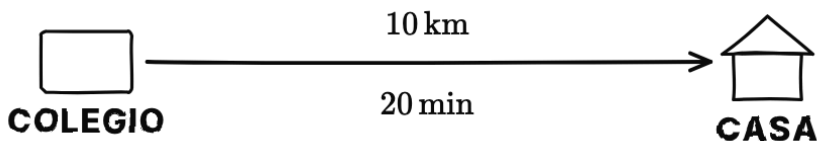
$$\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}}$$

FACTOR DE CONVERSIÓN

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

Un factor de conversión cancela unidades

Luego desarrolla un ejemplo más completo, un breve trayecto a casa. Usted conduce diez kilómetros del colegio a casa en veinte minutos y quiere su velocidad media, primero en kilómetros por hora y luego en metros por segundo. Dividir la distancia entre el tiempo da medio kilómetro por minuto, y como una hora tiene sesenta minutos, eso son treinta kilómetros por hora. Es el mismo tipo de número que marca el velocímetro del coche, una velocidad de ciudad, buena señal de que la respuesta es razonable. Pasarlo a metros por segundo exige dos factores a la vez, uno que cambia horas por segundos y otro que cambia kilómetros por metros, y da unos ocho metros y un tercio por segundo.



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

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

$$= 8.33 \text{ m/s}$$



Diez kilómetros en veinte minutos

El ejemplo resuelto enseña también a comprobarse uno mismo, y ese es el centro de lo que se llama análisis dimensional: dejar que las unidades guíen y vigilen el cálculo. Si se pone un factor de conversión al revés, las unidades se niegan a cancelarse y se acaba con un disparate, algo como kilómetros-hora por minuto al cuadrado, que claramente no es una velocidad. Así que se comprueba que las unidades se cancelaron, que la respuesta está en las unidades pedidas y que el resultado tiene sentido: diez kilómetros en un tercio de hora son treinta en una hora entera. El libro señala además que la respuesta se dio con tres cifras, y pregunta por qué; esa pregunta pertenece a la parte siguiente.

Unas notas al margen completan la parte. Hay unidades antiguas curiosas, como el firkin, de unos treinta y cuatro litros, usado antes para la cerveza, y el grano de cebada, y cada una puede ligarse al SI. Un colibrí que bate las alas cincuenta veces por segundo tarda unas veinte milésimas de segundo en cada aleteo, así que un científico que lo cronometrara mediría en segundos pero escribiría el resultado en milisegundos. Y un centímetro cúbico es exactamente un mililitro, lo que muestra cómo el SI construye su unidad de volumen directamente a partir de su unidad de longitud. Lo que esta parte deja fuera es cuán exacto es en realidad cada uno de estos números y cuántas cifras tenemos derecho a escribir; la exactitud, la precisión y la incertidumbre vienen después.

Para recordar

La física abarca una gama enorme, desde el tamaño de un protón hasta los bordes del universo y desde el tiempo que tarda la luz en cruzar un protón hasta la edad del universo. La conversión de unidades usa factores de conversión, razones como mil metros por kilómetro, colocados de modo que la unidad no deseada se cancele. El análisis dimensional consiste en dejar que las unidades revisen el trabajo: si no se cancelan hasta dar las unidades buscadas, algo está al revés. Diez kilómetros en veinte minutos son treinta kilómetros por hora, o unos ocho metros y un tercio por segundo. Compruebe siempre que una respuesta está en las unidades correctas y es razonable.

Preguntas

1. Al convertir unidades, ¿cómo debe colocarse el factor de conversión?
 - a. De modo que la unidad no deseada se cancele y quede la buscada
 - b. De modo que el número mayor quede siempre arriba
 - c. De modo que las dos unidades queden en la respuesta
 - d. Da igual en qué sentido se ponga
2. Ha convertido una velocidad y ha obtenido unidades de kilómetros-hora por minuto al cuadrado. ¿Qué le indica eso?
 - a. Que la respuesta es correcta pero poco habitual
 - b. Que la velocidad es muy alta
 - c. Que un factor de conversión se puso al revés
 - d. Que la distancia estaba en millas
3. ¿Por qué treinta kilómetros por hora es una respuesta razonable para diez kilómetros en veinte minutos?
 - a. Porque cualquier respuesta con las unidades correctas es razonable
 - b. Porque veinte minutos son un tercio de hora, así que en una hora entera se recorre el triple
 - c. Porque treinta es mayor que diez
 - d. Porque todas las velocidades de ciudad son exactamente treinta

4. ¿Qué muestra el hecho de que un centímetro cúbico sea igual a un mililitro?
- a. Que el volumen es una magnitud fundamental
 - b. Que el litro es más antiguo que el metro
 - c. Que los mililitros y los centímetros miden lo mismo
 - d. Que el $\{\{SI|ese\ i\}\}$ construye su unidad de volumen a partir de su unidad de longitud

Respuestas

1. **a)** Se multiplica por el factor colocado de modo que la unidad que se tiene se cancele y quede la que se quiere.
2. **c)** Si el factor está al revés, las unidades no se cancelan y dan un disparate en lugar de una velocidad.
3. **b)** Diez kilómetros en un tercio de hora son treinta en una hora entera, lo que coincide con el resultado.
4. **d)** El mililitro depende del centímetro, así que la unidad de volumen deriva del metro.

Ejemplos resueltos

Un breve trayecto a casa Conduce los 10,0 km del colegio a casa en 20,0 min. Halle su velocidad media en kilómetros por hora y en metros por segundo.

La velocidad media es la distancia dividida entre el tiempo: 10,0 km entre 20,0 min da 0,500 km por minuto.

Para obtener kilómetros por hora, multiplique por 60 minutos por hora, de modo que los minutos se cancelen: $0,500 \times 60 = 30,0$ km/h.

Comprobación: veinte minutos son un tercio de hora, así que en una hora entera recorrería tres veces 10 km, es decir, 30 km.

Para obtener metros por segundo, multiplique 30,0 km/h por 1000 metros por kilómetro y por una hora cada 3600 segundos.

$$30,0 \times 1000 \div 3600 = 8,33 \text{ metros por segundo.}$$

Respuesta: 30,0 km/h, que son 8,33 m/s.

Ejercicios

- 1.** Convierta 80 metros en kilómetros usando un factor de conversión.

Pista: Hay 1000 metros en 1 kilómetro; coloque el factor de modo que los metros se cancelen.

Respuesta: 0,080 km: 80 m multiplicados por 1 km cada 1000 m dejan $80 \div 1000 = 0,080$ km.

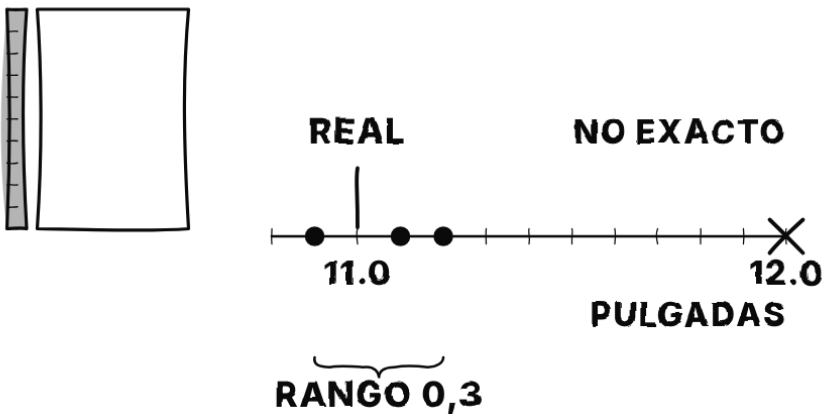
- 2.** Algunos colibríes baten las alas más de 50 veces por segundo. ¿Qué unidad fundamental debería usar un científico para cronometrar un aleteo, y qué prefijo métrico conviene al resultado?

Pista: Calcule cuánto dura un aleteo si hay 50 en un segundo.

Respuesta: La unidad fundamental es el segundo. Un aleteo dura una cincuentava parte de segundo, 0,02 s, que son 20 milisegundos, así que el prefijo mili, una milésima, es la elección natural.

Exacto, preciso y con cuánta seguridad

Tome una hoja normal de papel de impresora y mida su largo con una regla tres veces. El paquete dice once pulgadas, y usted lee once coma uno, once coma dos y diez coma nueve. ¿Acierta? Casi, pero no del todo, y cada intento salió un poco distinto. Ese pequeño enigma contiene las tres ideas de esta parte: exactitud, precisión e incertidumbre.



Tres lecturas de 11 pulgadas

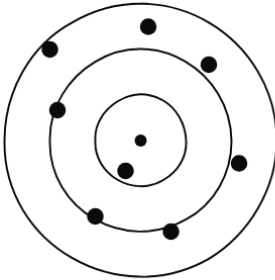
La exactitud es lo cerca que está una medida del valor verdadero. Sus tres lecturas quedan cerca de once pulgadas, así que son exactas; una

lectura de doce no lo sería. La precisión es otra cosa: lo mucho que concuerdan entre sí medidas repetidas hechas de la misma manera. Sus lecturas se reparten en solo tres décimas de pulgada, así que son bastante precisas; lecturas de diez coma nueve, once coma uno y once coma nueve no lo serían.

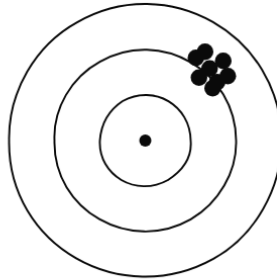
Las dos pueden separarse, y el libro lo muestra con una diana.

Imagine un GPS que intenta encontrar un restaurante en el centro de una diana, con cada intento marcado como un punto. En una imagen los puntos están muy dispersos pero agrupados alrededor del centro: poca precisión, mucha exactitud. En la otra forman un grupito apretado, pero lejos del restaurante: mucha precisión, poca exactitud. Ese segundo caso se parece a un mapa del teléfono que le sitúa, con mucha seguridad y siempre en el mismo sitio, al otro lado de la calle de donde de verdad está.

$45\,000 \pm 500$ millas



**EXACTO,
NO PRECISO**



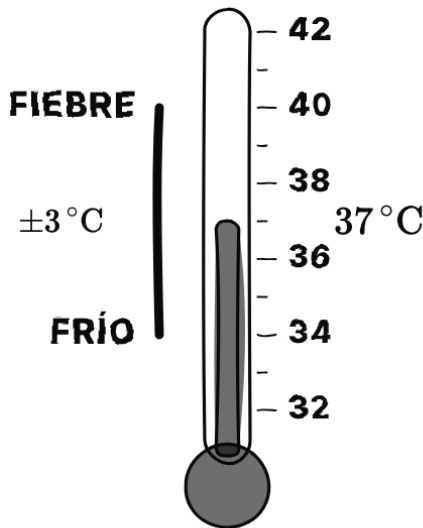
**PRECISO,
NO EXACTO**

Exacto o preciso

La incertidumbre une las dos: es un número que dice cuánto puede alejarse su medida del valor verdadero o esperado. El libro la llama una especie de advertencia. Si le preguntan cuánto ha recorrido su coche, podría decir cuarenta y cinco mil millas, quinientas arriba o abajo, es decir, entre cuarenta y cuatro mil quinientas y cuarenta y cinco mil quinientas. Toda medida tiene alguna incertidumbre, y el papel podría darse honradamente como once pulgadas, dos décimas arriba o abajo. Procede de los límites del instrumento, de la habilidad de quien mide, de las irregularidades del objeto y de lo que aporte la situación: una regla marcada solo en décimas de pulgada, mala vista, una hoja cortada un poco torcida. Los instrumentos importan aquí; el libro muestra una antigua balanza de dos platillos que mide hasta la

décima de gramo, junto a una báscula digital que mide hasta la milésima.

¿Por qué debería importarle a alguien? La respuesta del libro es un niño enfermo y un termómetro. Si el termómetro pudiera equivocarse en tres grados Celsius, una lectura normal de treinta y siete podría significar cualquier cosa, desde unos peligrosamente fríos treinta y cuatro hasta una fiebre peligrosa de cuarenta. Un termómetro así no serviría de nada, y por eso uno médico tiene que ser mucho más seguro. Dicho sencillamente, una medida es útil solo en la medida en que su incertidumbre es pequeña. Cómo escribir la incertidumbre como porcentaje y cuántas cifras le corresponden a un resultado quedan para las partes siguientes.



Un termómetro que falla tres grados

Para recordar

La exactitud es lo cerca que está una medida del valor verdadero. La precisión es lo mucho que concuerdan entre sí medidas repetidas, y un resultado puede tener una sin la otra. La incertidumbre dice cuánto puede alejarse una medida del valor verdadero, y toda medida tiene alguna. Procede del instrumento, de la persona, del objeto y de las circunstancias. Una medida con demasiada incertidumbre, como un termómetro que puede equivocarse en tres grados, no sirve.

Preguntas

1. Un GPS da un grupo apretado de posiciones, todas lejos del restaurante. ¿Cómo lo describiría?
 - a. Mucha exactitud, poca precisión
 - b. Poca exactitud, poca precisión
 - c. Mucha precisión, poca exactitud
 - d. Mucha precisión, mucha exactitud
2. ¿Por qué se dice que las lecturas de 11,1, 11,2 y 10,9 pulgadas son bastante precisas?
 - a. Porque se reparten en solo tres décimas de pulgada
 - b. Porque una de ellas es exactamente correcta
 - c. Porque se tomaron con una báscula digital
 - d. Porque su media es doce

3. ¿Por qué un termómetro con una incertidumbre de tres grados no serviría para un niño enfermo?
 - a. Porque siempre marcaría de más
 - b. Porque tres grados es demasiado poco para notarse
 - c. Porque los termómetros nunca tienen incertidumbre
 - d. Porque una lectura normal podría significar cualquier cosa, de un frío peligroso a una fiebre peligrosa
4. ¿Cuál de estas NO es una de las fuentes de incertidumbre que enumera el libro?
 - a. Los límites del instrumento de medida
 - b. El precio del instrumento de medida
 - c. La habilidad de quien mide
 - d. Las irregularidades del objeto medido

Respuestas

1. **c)** Los puntos concuerdan mucho entre sí, lo que es precisión, pero fallan el lugar verdadero, lo que es poca exactitud.
2. **a)** La precisión es lo mucho que concuerdan medidas repetidas, y estas difieren como mucho en tres décimas de pulgada.
3. **d)** Una lectura de 37 podría significar cualquier valor entre 34 y 40 grados, lo que no dice nada sobre lo que se pueda actuar.
4. **b)** El libro nombra los límites del instrumento, la habilidad de la persona, las irregularidades del objeto y otros factores de la situación.

Ejemplos resueltos

Cómo leer una incertidumbre Cuando le preguntan el kilometraje de su coche, dice 45 000 millas, 500 millas arriba o abajo.

¿Qué intervalo admite esta afirmación?

La cantidad de más o menos, 500 millas, es la incertidumbre.

El valor más bajo es 45 000 menos 500, es decir, 44 500 millas.

El valor más alto es 45 000 más 500, es decir, 45 500 millas.

El kilometraje real podría estar en cualquier punto entre ambos.

Respuesta: De 44 500 a 45 500 millas.

Ejercicios

1. Mide papel de impresora tres veces y obtiene 11,1, 11,2 y 10,9 pulgadas; el paquete dice 11,0 pulgadas. ¿Qué dispersión tienen sus lecturas, y son exactas?

Pista: Reste la lectura más baja de la más alta y luego compare todas con 11,0.

Respuesta: La dispersión es $11,2 - 10,9 = 0,3$ pulgadas, así que son bastante precisas. Todas están cerca de 11,0 pulgadas, así que también son exactas.

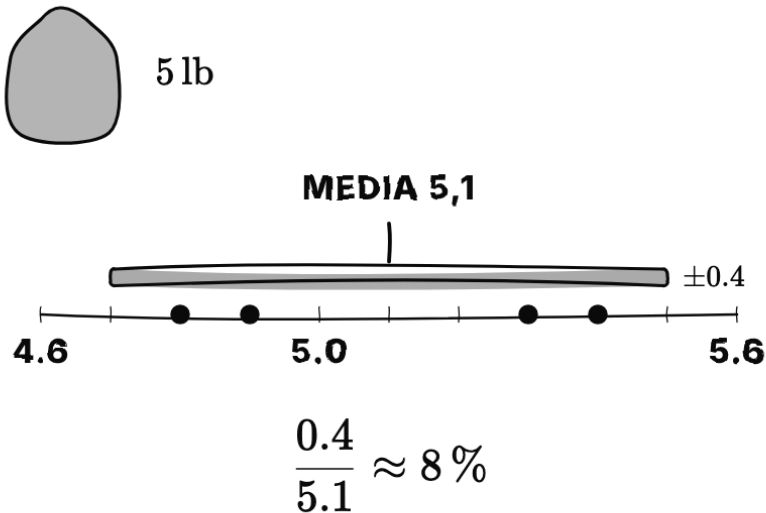
2. Un termómetro marca 37,0 °C pero podría equivocarse en 3,0 °C. ¿Entre qué dos temperaturas podría estar el valor real, y por qué eso hace inútil el termómetro?

Pista: Reste y sume la incertidumbre.

Respuesta: Entre 34,0 °C y 40,0 °C. Ese intervalo va de un frío peligroso a una fiebre peligrosa, así que la lectura no puede decirle si el niño está enfermo.

Cuánta duda, y cuántas cifras

Compre una bolsa de manzanas marcada con cinco libras durante cuatro semanas seguidas y pese cada una en casa. Podría obtener cuatro coma ocho, cinco coma tres, cuatro coma nueve y cinco coma cuatro. Ninguna da exactamente cinco: ¿le está engañando la tienda? No, si los números quedan dentro del más o menos honrado, y esta parte trata de cómo decir cuán grande es ese más o menos y cuántas cifras merece una medida.



Cinco libras, más o menos

La primera herramienta del libro es la incertidumbre porcentual: el más o menos expresado como fracción del valor medido. En el ejemplo de las manzanas, la media de las cuatro pesadas es cinco coma una libras, y medidas anteriores mostraron que el peso de la bolsa tiene una incertidumbre de unas cuatro décimas de libra. Cuatro décimas sobre cinco coma uno es aproximadamente un ocho por ciento, así que la bolsa pesa cinco libras, con un ocho por ciento arriba o abajo, y la tienda está dentro del margen honrado. El libro añade un recordatorio: si el mismo más o menos correspondiera a una bolsa la mitad de pesada, la incertidumbre porcentual sería el doble.

Todo lo que se calcula a partir de medidas arrastra su duda. Si calcula el área de un suelo a partir de su largo y su ancho, ambos algo inciertos, el área también es incierta. Para multiplicar o dividir medidas con incertidumbres pequeñas, el libro da una regla sencilla: sumar sus incertidumbres porcentuales. Un suelo de cuatro metros de largo y tres de ancho, con dudas del dos y del uno por ciento, tiene un área de doce metros cuadrados, con una incertidumbre de alrededor del tres por ciento. Y a veces la duda decide la respuesta sin más: un cronómetro que puede equivocarse en cinco centésimas de segundo no puede decirle si los once coma noventa y seis de un velocista superaron de verdad los doce coma cero cuatro de la semana pasada.



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

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

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

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

Las incertidumbres porcentuales se suman

La duda depende también del instrumento. Una regla mide hasta el milímetro más cercano, un calibre hasta la centésima de milímetro, así que el calibre es el instrumento más preciso. Una báscula de cocina que muestra gramos enteros no puede dar honradamente la dosis de un medicamento hasta la décima de gramo, por mucho cuidado que se ponga al leerla. Esa es la idea de las cifras significativas: se escriben solo tantas cifras como el instrumento midió realmente, y la última ya es en parte una estimación. Un palito leído en una regla como treinta y seis coma siete centímetros tiene tres cifras significativas; escribir treinta y seis coma setenta y uno supondría una precisión que la regla no tiene.

Los ceros requieren cuidado. Los ceros que solo marcan dónde está la coma, como en cero coma cero cincuenta y tres, no cuentan. Los ceros entre otras cifras, o al final después de la coma, sí cuentan, porque registran una medida real. Un número redondo como mil trescientos es ambiguo, ya que sus ceros pueden haberse medido o no, y el libro aconseja escribir esos números en potencias de diez para dejarlo claro. Cómo mantener las cifras significativas en sumas y multiplicaciones, y cómo hacer buenas estimaciones aproximadas, queda para la última parte.

Para recordar

La incertidumbre porcentual es el más o menos escrito como fracción del valor medido, como cinco libras más o menos un ocho por ciento. Cuando se multiplican o dividen medidas, sus pequeñas incertidumbres porcentuales se suman. Si la incertidumbre es mayor que la diferencia que se quiere ver, como con el velocista y el cronómetro, no se pueden distinguir los resultados. Las cifras significativas registran solo las cifras que un instrumento midió de verdad, con la última en parte estimada. Los ceros cuentan cuando se midieron, no cuando solo sostienen la coma.

Preguntas

1. Si una bolsa de manzanas pesara la mitad pero su peso tuviera el mismo más o menos, ¿qué pasaría con su incertidumbre porcentual?

- a. Seguiría igual
 - b. Sería el doble
 - c. Sería la mitad
 - d. Desaparecería
2. El largo de un suelo tiene una incertidumbre del 2 % y el ancho del 1 %. ¿Qué incertidumbre tiene su área?
- a. Alrededor del 3 %, la suma de las dos
 - b. Alrededor del 2 %, la mayor de las dos
 - c. Alrededor del 1 %, la menor de las dos
 - d. Alrededor del 2 %, el producto de las dos
3. ¿Por qué el entrenador no puede decir que el velocista mejoró, de 12,04 s a 11,96 s, con un cronómetro de $\pm 0,05$ s?
- a. Porque los tiempos de velocidad siempre empeoran
 - b. Porque el cronómetro solo mide segundos enteros
 - c. Porque 100 metros es una carrera demasiado corta
 - d. Porque la incertidumbre del cronómetro es demasiado grande para distinguir tiempos tan cercanos
4. ¿Cuántas cifras significativas tiene 0,053?
- a. Cuatro
 - b. Tres
 - c. Dos
 - d. Una

Respuestas

1. b) La misma incertidumbre sobre la mitad del valor es una fracción el doble de grande.

- 2. a)** Cuando se multiplican medidas con incertidumbres pequeñas, sus incertidumbres porcentuales se suman.
- 3. d)** Cuando el más o menos es tan grande como la diferencia que se quiere ver, los resultados no se pueden distinguir.
- 4. c)** Los ceros delanteros solo marcan dónde está la coma, así que solo cuentan el 5 y el 3.

Ejemplos resueltos

Una bolsa de manzanas Una bolsa de manzanas de 5 lb pesa 4,8, 5,3, 4,9 y 5,4 lb en cuatro semanas. La incertidumbre de su peso medio es de $\pm 0,4$ lb. Halle el peso medio y la incertidumbre porcentual.

Suma los cuatro pesos: $4,8 + 5,3 + 4,9 + 5,4 = 20,4$ lb.

Divida entre cuatro para obtener la media: $20,4 \div 4 = 5,1$ lb.

La incertidumbre porcentual es la incertidumbre dividida entre el valor, por 100 %: $0,4 \div 5,1 \times 100$ %.

Eso da alrededor del 8 %, y la media de 5,1 lb concuerda con las 5 lb de la etiqueta dentro de la incertidumbre de 0,4 lb.

Respuesta: Media de 5,1 lb; la bolsa pesa 5 lb $\pm$ 8 %.

Ejercicios

1. Un suelo mide 4,00 m de largo y 3,00 m de ancho, con incertidumbres del 2 % y del 1 %. ¿Cuál es su área y la incertidumbre del área, en porcentaje y en metros cuadrados?

Pista: Multiplique para obtener el área, sume los porcentajes y luego tome ese porcentaje del área.

Respuesta: El área es 12,0 m² con una incertidumbre del 3 %. El tres por ciento de 12,0 m² es 0,36 m², redondeado a 0,4 m².

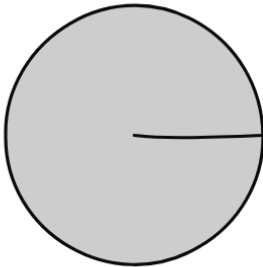
2. ¿Cuántas cifras significativas hay en cada número: 0,0009; 15 450,0; 87,990; 30,42?

Pista: Los ceros delanteros solo colocan la coma; los ceros después de la coma o entre cifras se midieron.

Respuesta: 0,0009 tiene 1; 15 450,0 tiene 6; 87,990 tiene 5; 30,42 tiene 4.

Respuestas honradas y buenas estimaciones

Escriba el área de una mesa redonda pequeña en una calculadora y puede que le dé ocho cifras: cuatro coma cinco dos tres ocho nueve tres cuatro metros cuadrados. Todas esas cifras parecen seguras de sí. Pero si midió el radio de la mesa como uno coma dos metros, solo dos de ellas significan algo. Esta última parte trata de cuántas cifras se ha ganado una respuesta, y luego de la habilidad contraria: hacer una buena estimación aproximada casi sin cifras.



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

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

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

2 CIFRAS SIG.

Las cifras que permite el radio

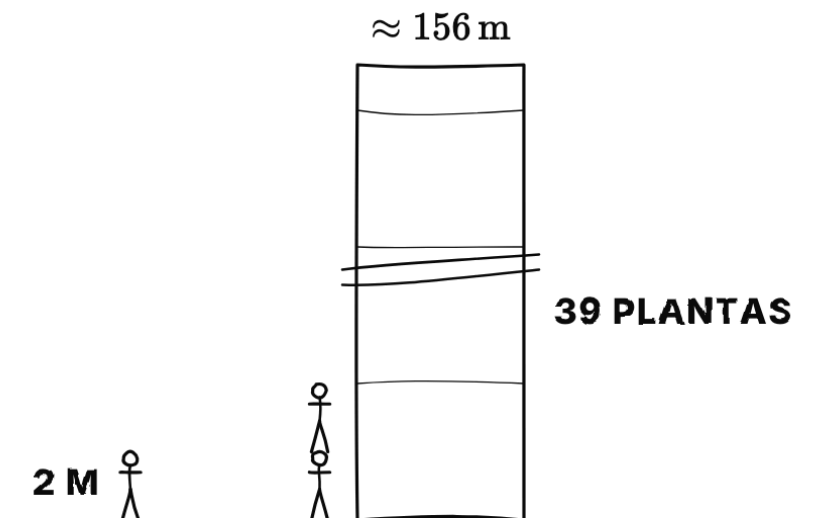
La regla básica es sencilla: una respuesta nunca puede ser más precisa que la medida menos precisa que entró en ella. Para multiplicar y dividir, la regla del libro es conservar tantas cifras significativas como la medida que tiene menos. El radio de la mesa tenía dos, así que el área es cuatro coma cinco metros cuadrados, aunque el número pi se conozca con muchísimas más cifras. Es como una dosis de medicamento calculada a partir de un peso leído en una báscula de baño: la dosis no puede ser más exacta que la lectura de la báscula de la que salió.

Para sumar y restar, la regla se refiere en cambio a los decimales. El ejemplo del libro sigue una carga de patatas: siete coma cincuenta y seis kilogramos comprados en una báscula de tienda que mide centésimas, seis coma cero cincuenta y dos kilogramos entregados en un laboratorio en una báscula que mide milésimas, y trece coma siete kilogramos añadidos en casa en una báscula de baño que solo mide décimas. Haga las cuentas y obtendrá quince coma doscientos ocho, pero la báscula de baño solo conocía décimas, así que la respuesta honrada es quince coma dos kilogramos. Los números exactos, como las dos bolsas contadas en un total o el dos de la fórmula de la longitud de una circunferencia, nunca limitan las cifras, porque no tienen ninguna incertidumbre. El propio libro trabaja casi siempre con tres cifras significativas, y usa más solo donde una materia como la óptica lo necesita.

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

Al sumar, el menor número de decimales

Después el libro da la vuelta a la pregunta. A menudo los científicos y los ingenieros no necesitan muchas cifras; necesitan una estimación rápida y sensata, lo que el libro llama un cálculo a ojo. ¿A qué distancia está cierto lugar, qué densidad tiene cierto objeto, cuánta corriente pasa más o menos por un circuito? Esas aproximaciones descartan respuestas imposibles, permiten poner en duda lo que afirman otros y orientan el razonamiento. La habilidad crece con la práctica, con el sentido de las unidades y con el valor de comprometerse con un número.

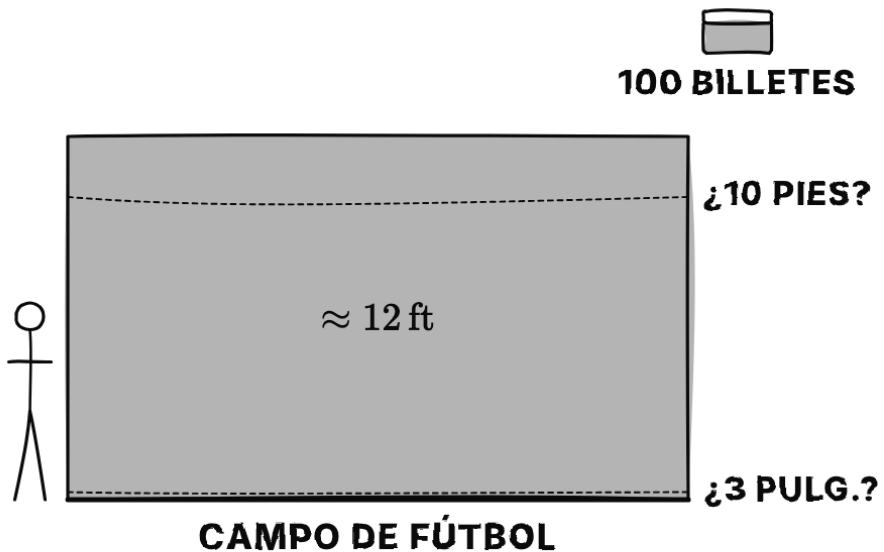


Un edificio en personas

El primer ejemplo estima un edificio de treinta y nueve plantas a partir de una persona. El libro toma a una persona como de unos dos metros de altura y una planta como de unas dos personas de alto, así que el edificio sale de unos ciento cincuenta y seis metros. Puede hacer lo mismo con su propio cuerpo: si su mano mide unos diez centímetros de ancho, unos cuantos palmos le dicen el ancho de su escritorio sin cinta métrica.

El segundo ejemplo se enfrenta a un número que casi nadie puede imaginar: un billón de dólares. Imagine un billón de dólares en billetes de cien, atados en fajos bancarios de cien billetes cada uno y repartidos por igual sobre un campo de fútbol. Un amigo calcula que el montón tendría tres pulgadas de alto; otro, diez pies. Haciendo la

cuenta por pasos aproximados, con una cifra significativa, el libro encuentra unos cien millones de fajos, cada uno del tamaño de un libro de bolsillo pequeño, y un campo de unos seis millones de pulgadas cuadradas; al dividir uno entre otro sale un montón de unas ciento cincuenta pulgadas de alto, unos doce pies. Así que los diez pies se acercaban y las tres pulgadas se quedaban muy cortas, y la estimación cuidadosa supera a las dos corazonadas.



Un billón de dólares en un campo

El libro cierra el capítulo con una invitación más: estimar una cancha de baloncesto solo con cálculo mental. Ponga en fila personas imaginarias de unos dos metros, unas quince a lo largo y siete a lo ancho, y el área sale de unos cuatrocientos veinte metros cuadrados. Así termina el primer capítulo: la física como búsqueda de leyes

sencillas, construida sobre unidades acordadas, honrada con su incertidumbre y cómoda tanto con las cifras cuidadosas como con las estimaciones audaces y sensatas.

Para recordar

Una respuesta nunca es más precisa que la medida menos precisa en que se basa. Al multiplicar o dividir, conserve tantas cifras significativas como el dato que tenga menos; al sumar o restar, tantos decimales como el dato menos preciso. Los números exactos, como los objetos contados, nunca limitan las cifras. Una buena aproximación, escalada a partir de cosas conocidas como la altura de una persona, descarta enseguida las respuestas imposibles. Un billón de dólares en billetes de cien cubriría un campo de fútbol con una capa de unos doce pies.

Preguntas

1. El radio de un círculo se mide como 1,2 m. ¿Por qué su área debe darse como 4,5 metros cuadrados y no como 4,5238934?
 - a. Porque π solo se conoce con dos cifras
 - b. Porque las calculadoras se equivocan a partir de dos cifras
 - c. Porque el radio solo tiene dos cifras significativas, y eso limita el resultado
 - d. Porque las áreas siempre se redondean a un decimal

2. Se combinan unas patatas medidas como 7,56 kg, 6,052 kg y 13,7 kg. ¿Por qué la respuesta se da en décimas?
 - a. Porque la medida menos precisa, 13,7 kg, solo se conocía hasta las décimas
 - b. Porque la báscula del laboratorio era la más precisa
 - c. Porque las patatas no se pueden pesar con más exactitud
 - d. Porque sumar siempre quita dos decimales
3. ¿Por qué contar el número de bolsas nunca limita las cifras significativas de un total?
 - a. Porque los recuentos son siempre números grandes
 - b. Porque los números contados se redondean
 - c. Porque las bolsas nunca se pesan
 - d. Porque un número contado o exacto no tiene incertidumbre
4. ¿Para qué sirve sobre todo una aproximación, o cálculo a ojo?
 - a. Para sustituir todas las medidas cuidadosas
 - b. Para descartar enseguida respuestas imposibles y orientar el razonamiento
 - c. Para obtener la respuesta exacta sin ningún trabajo
 - d. Para no tener que usar unidades

Respuestas

1. c) En una multiplicación, la respuesta conserva tantas cifras significativas como el dato que tiene menos, aquí el radio con dos.
2. a) En sumas y restas, la respuesta no conserva más decimales que la medida menos precisa.

- 3. d)** Los números exactos, como los objetos contados o el dos de la longitud de una circunferencia, no tienen incertidumbre.
- 4. b)** Las aproximaciones descartan números poco realistas, permiten cuestionar afirmaciones y orientan el planteamiento.

Ejemplos resueltos

La altura de un edificio de 39 plantas Estime la altura de un edificio de 39 plantas, tomando a una persona como de unos 2 m y una planta como de unas dos personas de alto.

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

Hay 39 plantas.

Multiplique: $39 \times 4 \text{ m} = 156 \text{ m}$.

Respuesta: Unos 156 m.

Ejercicios

1. Una mujer tiene tres bolsas: dos pesan 13,5 libras cada una y otra pesa 10,2 libras. ¿Cuál es el peso total, con el número correcto de cifras?

Pista: El recuento de dos bolsas es exacto; fíjese en los decimales de los pesos.

Respuesta: 37,2 libras: $13,5 + 13,5 + 10,2 = 37,2$. El número de bolsas es exacto y no limita las cifras.

2. Un carrito de 55 kg de masa acelera a $0,0255 \text{ m/s}^2$. La fuerza es la masa por la aceleración. ¿Cuál es la fuerza, con el número correcto de cifras significativas?

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

Respuesta: 1,4 N: $55 \times 0,0255 = 1,4025$, y como 55 kg solo tiene dos cifras significativas, la respuesta se redondea a dos.