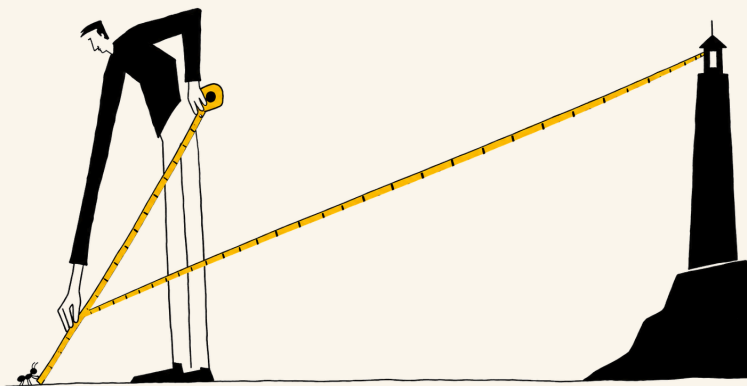


Física universitaria



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

Introducción: la naturaleza de la ciencia y de la física

Física: una introducción

Aplicaciones de la física

Modelos, teorías y leyes; el papel de la experimentación

El método científico y el nacimiento de la física moderna

Magnitudes físicas y unidades

El segundo, el metro y el kilogramo

Prefijos métricos

Intervalos conocidos y conversión de unidades

Terminando el trayecto a casa

Exactitud, precisión e incertidumbre

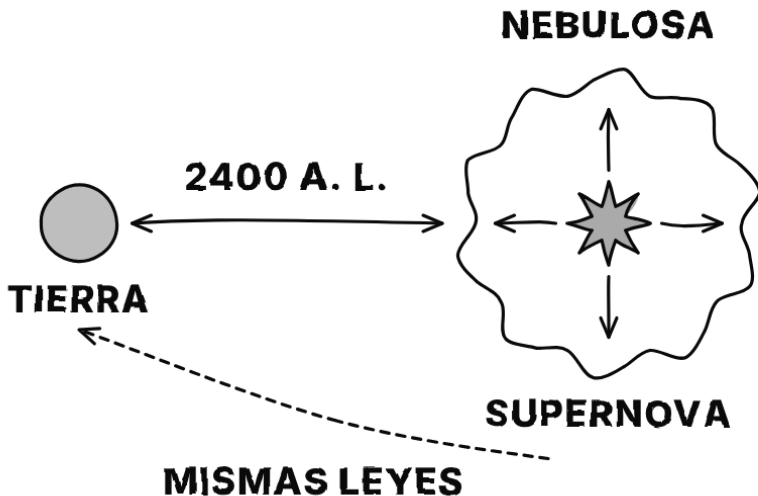
Incertidumbre porcentual y cifras significativas

Los ceros y las cifras significativas en los cálculos

Aproximación

Introducción: la naturaleza de la ciencia y de la física

¿Cuál es su primera reacción cuando oye la palabra «física»? ¿Se imaginó resolviendo ecuaciones difíciles o memorizando fórmulas que parecen no tener ninguna utilidad fuera del aula de física? Mucha gente llega a la física con un poco de miedo. Pero al comenzar a explorar esta materia tan amplia, quizá pronto se dé cuenta de que la física tiene en su vida un papel mucho mayor del que pensaba, sean cuales sean sus metas o su profesión.

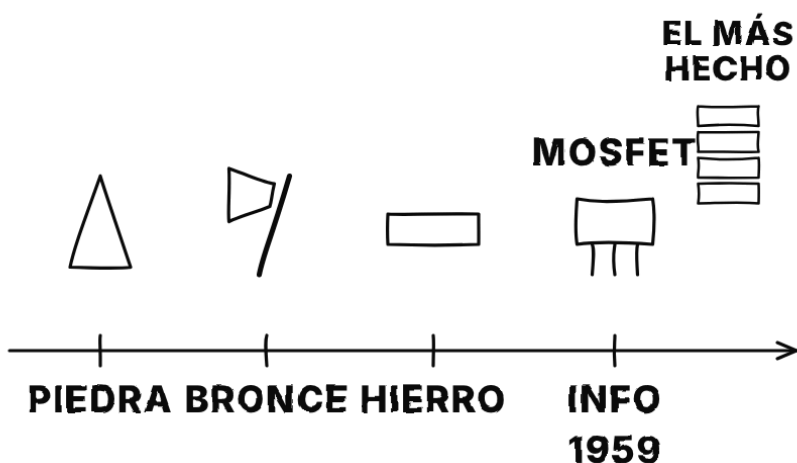


La nebulosa del Velo está muy lejos

Piense en la nebulosa del Velo, una nube de polvo y gas caliente situada a unos 2400 años luz de la Tierra (un año luz es la distancia que recorre la luz en un año, aproximadamente 9,5 billones de kilómetros). Su estructura única es el resultado, todavía en curso, de una supernova que ocurrió hace 8000 años. La onda de choque de la explosión choca con una nube de gas y polvo y crea esos filamentos como cuerdas y ese aspecto de láminas. Los científicos comparan imágenes nuevas con las imágenes detalladas que tomó el telescopio espacial Hubble en 1997 para entender la expansión de la nebulosa y otras propiedades de los objetos astronómicos. Las fuerzas que hacen que el resto de la supernova se comporte así son las mismas fuerzas con las que lidiamos aquí en la Tierra, ya sea que planeemos enviar un cohete al espacio o simplemente calentar una casa nueva. Aunque la escala es muy distinta, la interacción de los gases en la nebulosa del Velo se parece a la de la Tierra; y las vivas combinaciones de colores las crean los brillos conocidos del hidrógeno, el azufre, el oxígeno y elementos parecidos, que forman todo lo que conocemos. Esta noche, tómese un momento para mirar las estrellas. Las fuerzas de allí arriba son las mismas que las de aquí en la Tierra. Al estudiar física, puede llegar a entender mejor cómo está conectado todo lo que podemos ver y conocer en este universo.

A lo largo de la historia de nuestra especie, los seres humanos han creado y fabricado millones de objetos distintos. Los sucesivos periodos tecnológicos (a menudo llamados Edad de Piedra, Edad del Bronce, Edad del Hierro, etcétera) estuvieron marcados por nuestro conocimiento de las propiedades físicas de ciertos materiales y nuestra capacidad para trabajarlos. Todo ese conocimiento viene de la física, ya sea la manera en que se desprenden lascas de una piedra al tallar una punta de lanza, el efecto de incorporar carbono al hierro en

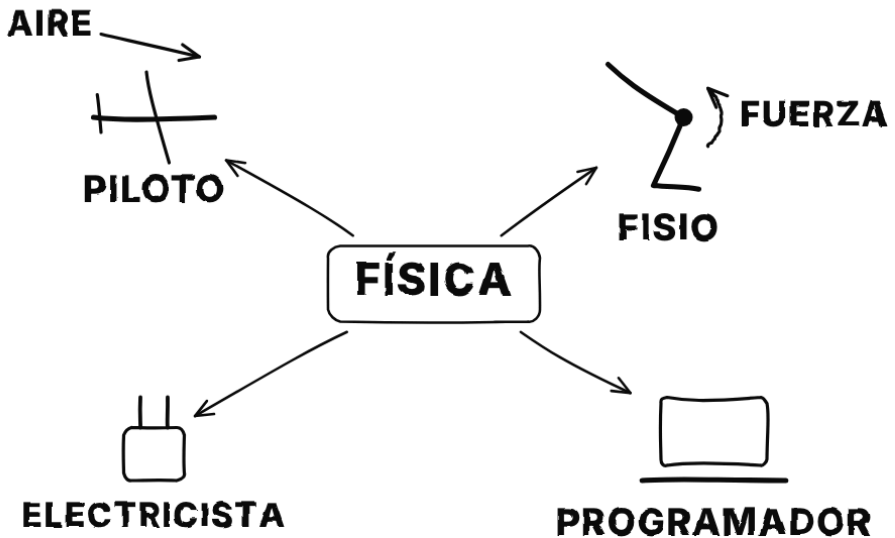
los hornos del sur de la India y de Sri Lanka para obtener el primer acero de alta calidad, o la forma correcta de combinar piezas de vidrio perfectamente talladas y pulidas para crear instrumentos ópticos. Nuestra era tecnológica actual, la era de la información, se apoya en todo ese conocimiento y se remonta a innovaciones clave hechas por personas de todos los orígenes que trabajaron juntas. Mohamed M. Atalla y Dawon Kahng, por ejemplo, inventaron el MOSFET (transistor de efecto de campo de metal-óxido-semiconductor). Aunque casi nadie lo conoce, este diminuto dispositivo, creado en 1959 por un científico nacido en Egipto y otro nacido en Corea que trabajaban en un laboratorio de Nueva Jersey, es la base de la electrónica moderna. Se han fabricado más MOSFET que cualquier otro objeto en la historia de la humanidad. Se usan en ordenadores, teléfonos inteligentes, hornos de microondas, controles de automóviles, instrumentos médicos y casi cualquier otro aparato electrónico.



Edades de los materiales

Ahora piense en las tecnologías modernas más emocionantes de las que haya oído hablar en las noticias, como trenes que levitan sobre las vías, «capas de invisibilidad» que desvían la luz a su alrededor y robots microscópicos que combaten células cancerosas dentro de nuestro cuerpo. Todos estos avances revolucionarios, cotidianos o increíbles, se basan en los principios de la física. Además de su gran papel en la tecnología, profesionales como ingenieros, pilotos, médicos, fisioterapeutas, electricistas y programadores aplican conceptos de física en su trabajo diario. Por ejemplo, un piloto debe entender cómo las fuerzas del viento afectan a la trayectoria de vuelo, y un fisioterapeuta debe entender cómo los músculos del cuerpo soportan fuerzas al moverse y doblarse. Como aprenderá en este

texto, los principios de la física impulsan tecnologías nuevas y emocionantes, y se aplican en una gran variedad de profesiones.



Profesiones que usan la física

En este texto empezará a explorar la historia del estudio formal de la física, comenzando por la filosofía natural y los antiguos pensadores de Oriente Medio y el Mediterráneo, hasta llegar a sir Isaac Newton y las leyes de la física que llevan su nombre. También conocerá los patrones que usan los científicos al estudiar magnitudes físicas y el sistema de medidas interrelacionadas que la mayor parte de la comunidad científica usa para comunicarse en un único lenguaje matemático. Por último, estudiará los límites de nuestra capacidad para ser exactos y precisos, y las razones por las que los científicos se

esfuerzan tanto en ser lo más claros posible sobre sus propias limitaciones.

Preguntas

1. ¿Por qué el texto presenta la nebulosa del Velo al comienzo mismo de un curso de física?
 - a. Para mostrar que las fuerzas que dan forma a una nube lejana son las mismas con las que tratamos en la Tierra
 - b. Para mostrar que la astronomía es la rama más difícil de la física
 - c. Para mostrar que la física trata sobre todo de objetos muy lejanos
 - d. Para mostrar que las supernovas son frecuentes cerca de la Tierra
2. ¿Cómo averiguan los científicos cómo se expande la nebulosa?
 - a. Enviando sondas a la nube de gas
 - b. Midiendo sus colores una vez y comparándolos con el Sol
 - c. Comparando imágenes nuevas con las imágenes detalladas del Hubble tomadas en 1997
 - d. Calculando cuándo ocurrió la supernova
3. Según el texto, ¿qué marcó cada era tecnológica, como la Edad del Bronce o la del Hierro?
 - a. El número de personas que usaban las nuevas herramientas

- b. El conocimiento de las propiedades físicas de ciertos materiales y la capacidad de trabajarlos
- c. El descubrimiento de una nueva ley del movimiento
- d. La invención de instrumentos de medida

Respuestas

1. **a)** Las fuerzas que hacen que el resto de la supernova se comporte así son las mismas con las que lidiamos aquí en la Tierra, desde los cohetes hasta la calefacción de una casa.
2. **c)** La onda, que sigue avanzando, se observa una y otra vez; colocar las imágenes nuevas junto a las de 1997 muestra cómo se expande la nebulosa.
3. **b)** Los sucesivos periodos tecnológicos estuvieron marcados por nuestro conocimiento de las propiedades físicas de los materiales y nuestra capacidad para manipularlos, y ese conocimiento viene de la física.

Ejercicios

1. El texto dice que un piloto y un fisioterapeuta usan la física en su trabajo diario. Explique con sus propias palabras qué física necesita cada uno.

Pista: Piense en qué fuerzas tiene que manejar cada uno: en el avión y en el cuerpo del paciente.

Respuesta: Un piloto debe entender cómo las fuerzas del viento empujan el avión y cambian su trayectoria de vuelo. Un fisioterapeuta debe entender las fuerzas que sienten los músculos cuando el cuerpo se mueve y se dobla. Ambos usan las mismas ideas físicas sobre las fuerzas, en trabajos muy distintos.

2. Casi nadie conoce el MOSFET, y sin embargo el texto lo llama la base de la electrónica moderna. Explique por qué ambas afirmaciones

pueden ser ciertas a la vez.

Pista: Pregúntese dónde está el dispositivo y si alguien lo ve.

Respuesta: El MOSFET es un dispositivo diminuto escondido dentro de ordenadores, teléfonos inteligentes, microondas, controles de coche e instrumentos médicos, así que la gente lo usa constantemente sin verlo nunca. Se han fabricado más que cualquier otro objeto de la historia, y por eso toda la era de la información descansa sobre él.

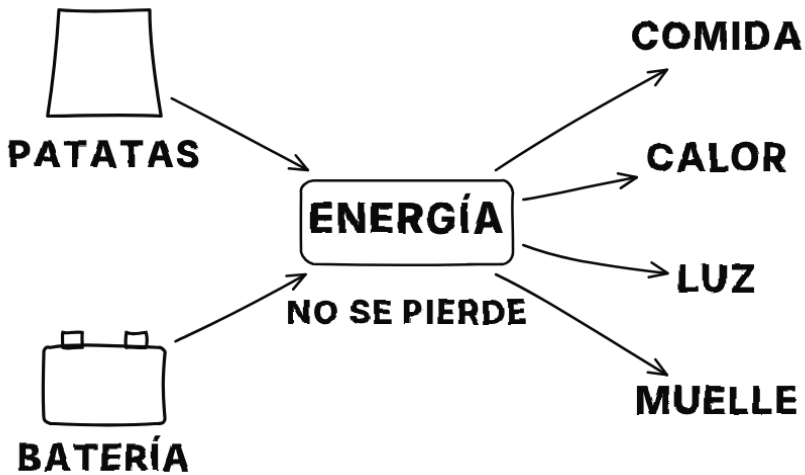
3. Los colores de la nebulosa del Velo proceden del hidrógeno, el azufre y el oxígeno que brillan. ¿Por qué cree el texto que este hecho importa a alguien en la Tierra?

Pista: Compare esos elementos con aquello de lo que están hechas las cosas a su alrededor.

Respuesta: Son los mismos elementos conocidos que forman todo lo que conocemos. Así que la nube, aunque es enormemente mayor y está lejísimos, está hecha de lo mismo y sigue las mismas reglas que los gases de la Tierra, que es lo que el texto quiere decir sobre la conexión de todas las cosas.

Física: una introducción

El universo físico es enormemente complejo en sus detalles. Cada día, cada uno de nosotros observa una gran variedad de objetos y fenómenos. A lo largo de los siglos, la curiosidad de la especie humana nos ha llevado colectivamente a explorar y catalogar una enorme riqueza de información. Desde el vuelo de las aves hasta los colores de las flores, desde el rayo hasta la gravedad, desde los quarks hasta los cúmulos de galaxias, desde el paso del tiempo hasta el misterio de la creación del universo, hemos hecho preguntas y reunido enormes conjuntos de datos. Ante todos estos detalles, hemos descubierto que un conjunto sorprendentemente pequeño y unificado de leyes físicas puede explicar lo que observamos. Como seres humanos, generalizamos y buscamos orden. Hemos descubierto que la naturaleza es notablemente colaboradora: muestra el orden y la sencillez de fondo que tanto valoramos.

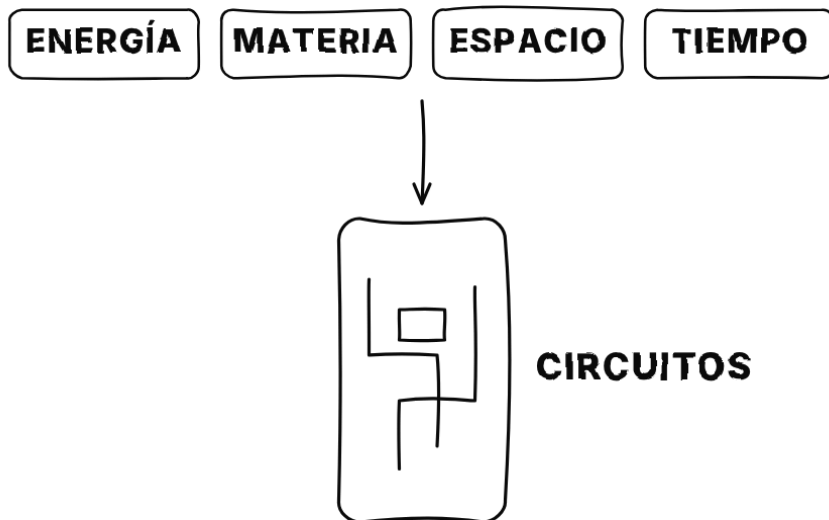


Una ley une la energía

Es el orden de fondo de la naturaleza lo que hace que la ciencia en general, y la física en particular, sea tan agradable de estudiar. Por ejemplo, ¿qué tienen en común una bolsa de patatas fritas y la batería de un coche? Ambas contienen energía que puede convertirse en otras formas. La ley de conservación de la energía (que dice que la energía puede cambiar de forma pero nunca se pierde) une temas como las calorías de los alimentos, las baterías, el calor, la luz y los muelles de los relojes. Entender esta ley facilita aprender las distintas formas que toma la energía y cómo se relacionan entre sí. Temas aparentemente sin relación están conectados por leyes físicas de aplicación muy amplia, lo que permite una comprensión que va más allá de memorizar listas de datos.

El carácter unificador de las leyes físicas y la sencillez básica de la naturaleza son los temas de fondo de este texto. Al aprender a aplicar estas leyes, estudiará, por supuesto, los temas más importantes de la física. Y, lo que es más importante, adquirirá capacidades de análisis que le permitirán aplicar estas leyes mucho más allá de lo que cabe en un solo libro. Estas capacidades de análisis le ayudarán a destacar en los estudios y también a pensar de forma crítica en cualquier carrera profesional que elija. Este módulo trata del ámbito de la física (para definir qué es la física), algunas aplicaciones de la física (para mostrar su importancia para otras disciplinas) y, con más precisión, qué constituye una ley física (para aclarar la importancia de la experimentación para la teoría).

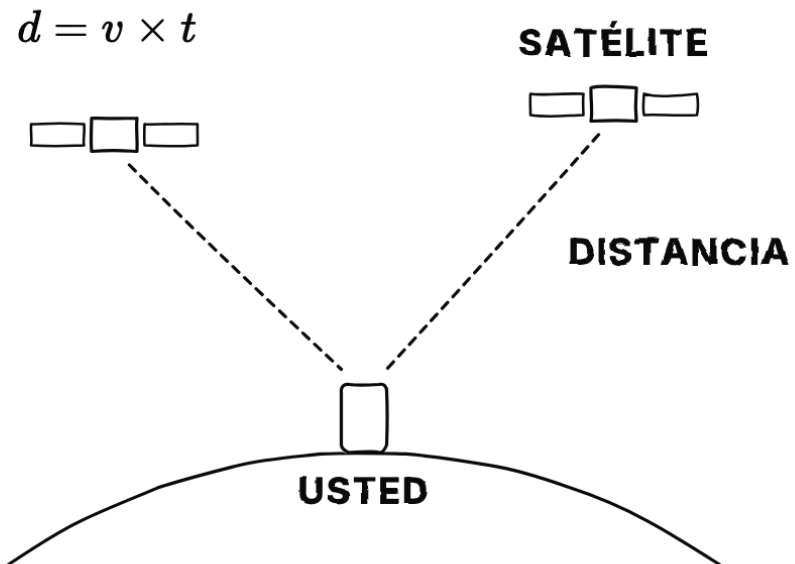
La ciencia está formada por las teorías y leyes que son las verdades generales de la naturaleza, así como por el conjunto de conocimientos que abarcan. Los científicos intentan continuamente ampliar este conjunto de conocimientos y perfeccionar la formulación de las leyes que lo describen. La física se ocupa de describir las interacciones de la energía, la materia, el espacio y el tiempo, y le interesa especialmente qué mecanismos fundamentales hay detrás de cada fenómeno. El interés por describir los fenómenos básicos de la naturaleza es, en esencia, lo que define el ámbito de la física.



Lo que describe la física

La física pretende describir el funcionamiento de todo lo que nos rodea, desde el movimiento de diminutas partículas cargadas hasta el movimiento de personas, coches y naves espaciales. De hecho, casi todo lo que le rodea puede describirse con bastante exactitud mediante las leyes de la física. Piense en un teléfono inteligente. La física describe cómo interactúa la electricidad con los distintos circuitos del interior del aparato. Este conocimiento ayuda a los ingenieros a elegir los materiales y la disposición de circuitos adecuados al construir el teléfono. Ahora piense en un sistema GPS. La física describe la relación entre la velocidad de un objeto, la distancia que recorre y el tiempo que tarda en recorrerla. El GPS se basa en cálculos precisos que tienen en cuenta las variaciones del relieve terrestre, la distancia exacta entre los satélites en órbita e

incluso el efecto de un fenómeno complejo de dilatación del tiempo. La mayoría de estos cálculos se basan en algoritmos desarrollados por Gladys West, matemática e informática que programó los primeros ordenadores capaces de realizar teledetección y posicionamiento de gran precisión. Cuando usa un dispositivo GPS, este utiliza esos algoritmos para reconocer dónde está usted y cómo se relaciona su posición con otros objetos de la Tierra.



Cómo le encuentra el GPS

Preguntas

1. Según el texto, ¿qué tienen en común una bolsa de patatas fritas y la batería de un coche?
 - a. Ambas están hechas de los mismos elementos químicos
 - b. Ambas contienen energía que puede convertirse en otras formas
 - c. Ambas pierden toda su energía al usarse
 - d. Ambas guardan energía solo en forma de calor
2. ¿Qué dice la ley de conservación de la energía?
 - a. La energía puede cambiar de forma, pero nunca se pierde
 - b. La energía se gasta cada vez que algo se mueve
 - c. Las máquinas pueden crear energía
 - d. Cada forma de energía obedece a su propia ley
3. ¿Por qué dice el texto que entender las leyes físicas es mejor que memorizar listas de datos?
 - a. Porque las listas de datos suelen estar equivocadas
 - b. Porque las leyes se escriben más rápido
 - c. Porque las leyes de aplicación amplia conectan temas aparentemente sin relación
 - d. Porque los datos cambian cada año
4. Según el texto, ¿en qué relación de la física se basa un sistema GPS?
 - a. Entre la masa de un objeto y su color
 - b. Entre la temperatura y la presión
 - c. Entre la electricidad y la luz
 - d. Entre la velocidad de un objeto, la distancia que recorre y el tiempo que tarda

Respuestas

1. **b)** Ambas contienen energía que puede convertirse en otras formas, y la ley de conservación de la energía une estos temas.
2. **a)** La ley dice que la energía puede cambiar de forma pero nunca se pierde, lo que relaciona las calorías de los alimentos, las baterías, el calor, la luz y los muelles de reloj.
3. **c)** Temas aparentemente sin relación están conectados por leyes físicas de aplicación amplia, lo que permite comprender más allá de memorizar.
4. **d)** La física describe la relación entre velocidad, distancia y tiempo, y el GPS se basa en cálculos precisos contruidos sobre ella.

Ejercicios

1. Explique con sus propias palabras qué diferencia a la física de simplemente reunir datos sobre la naturaleza.

Pista: Piense en cuántas leyes, según el texto, explican lo que observamos.

Respuesta: Hemos reunido enormes conjuntos de datos, desde las aves hasta las galaxias, pero un conjunto sorprendentemente pequeño y unificado de leyes físicas los explica. La física busca ese orden de fondo y los mecanismos fundamentales detrás de cada fenómeno, en lugar de memorizar los datos uno a uno.

2. Las calorías de los alimentos, las baterías, el calor, la luz y los muelles de reloj parecen no tener relación. Explique qué idea única los une.

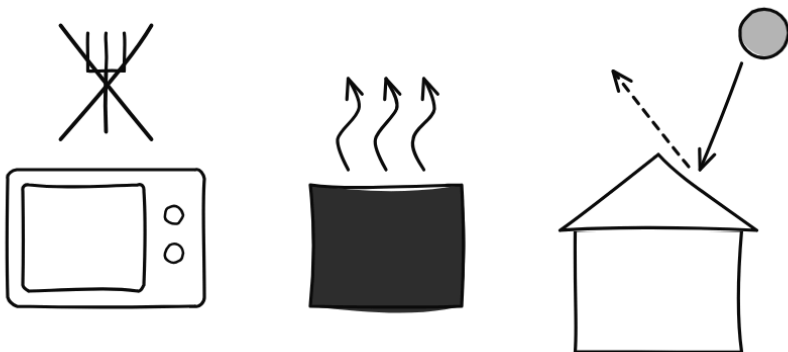
Pista: Pregúntese qué contienen todos y qué puede pasarle a eso.

Respuesta: Todos implican energía, que puede pasar de una forma a otra pero nunca se pierde. La ley de conservación de la energía los

relaciona, así que aprenderla hace que cada uno de estos temas sea más fácil de entender.

Aplicaciones de la física

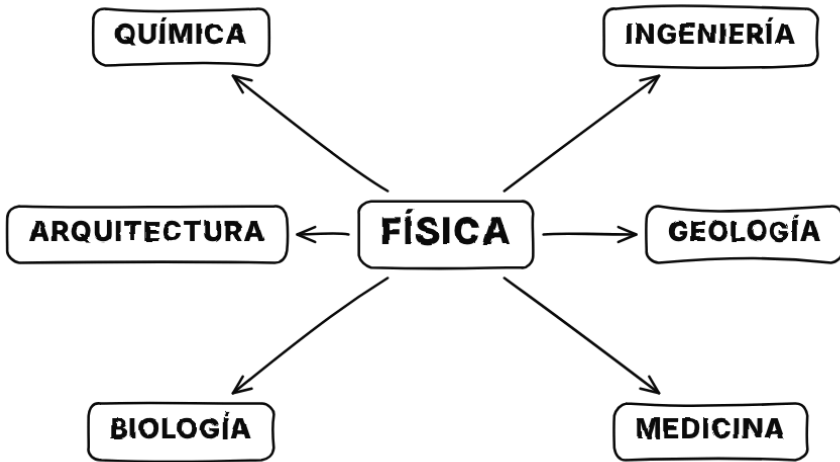
No hace falta ser científico para usar la física. Al contrario, saber física es útil en situaciones cotidianas y también en profesiones no científicas. Puede ayudarle a entender cómo funcionan los hornos de microondas, por qué no se deben meter metales en ellos y por qué podrían afectar a los marcapasos. La física le permite entender los peligros de la radiación y evaluarlos racionalmente con más facilidad. La física también explica por qué un radiador de coche negro ayuda a eliminar el calor del motor y por qué un tejado blanco ayuda a mantener fresco el interior de una casa. Del mismo modo, el funcionamiento del sistema de encendido de un coche y la transmisión de señales eléctricas por el sistema nervioso de nuestro cuerpo son mucho más fáciles de entender si se piensa en ellos desde la física básica.



MICROONDAS RADIADOR TEJADO BLANCO

Física en una casa y un coche

La física es la base de muchas disciplinas importantes y contribuye directamente a otras. La química, por ejemplo, como trata de las interacciones de átomos y moléculas, tiene sus raíces en la física atómica y molecular. La mayoría de las ramas de la ingeniería son física aplicada. En arquitectura, la física está en el corazón de la estabilidad estructural e interviene en la acústica, la calefacción, la iluminación y la refrigeración de los edificios. Partes de la geología dependen mucho de la física, como la datación radiactiva de rocas, el análisis de terremotos y la transferencia de calor en la Tierra. Algunas disciplinas, como la biofísica y la geofísica, son híbridos de la física y otras disciplinas.



Campos basados en la física

La física tiene muchas aplicaciones en las ciencias biológicas. A nivel microscópico, ayuda a describir las propiedades de las paredes y membranas celulares. A nivel macroscópico, puede explicar el calor, el trabajo y la potencia asociados al cuerpo humano. La física interviene en el diagnóstico médico, como los rayos X, la resonancia magnética (RM) y la medición del flujo sanguíneo por ultrasonidos. A veces el tratamiento médico implica directamente a la física; por ejemplo, la radioterapia contra el cáncer usa radiación ionizante. La física también puede explicar fenómenos sensoriales, como la manera en que los instrumentos musicales producen sonido, cómo el ojo detecta el color y cómo los láseres pueden transmitir información.

No es necesario estudiar formalmente todas las aplicaciones de la física. Lo más útil es conocer las leyes básicas de la física y dominar los métodos de análisis para aplicarlas. Estudiar física también puede mejorar su capacidad para resolver problemas. Además, la física ha conservado los aspectos más básicos de la ciencia, así que la usan todas las ciencias, y estudiarla hace que las demás ciencias sean más fáciles de entender.

Preguntas

1. ¿Por qué se dice que la química tiene sus raíces en la física?
 - a. Porque los químicos usan los mismos laboratorios que los físicos
 - b. Porque la química trata de las interacciones de átomos y moléculas, el objeto de la física atómica y molecular
 - c. Porque la química se inventó después de la física
 - d. Porque todas las sustancias químicas son radiactivas
2. Según el texto, ¿qué es lo más útil que se puede sacar de un curso de física?
 - a. Una lista completa de todas las aplicaciones de la física
 - b. La capacidad de construir máquinas médicas
 - c. El conocimiento de las leyes básicas y la habilidad en los métodos de análisis para aplicarlas
 - d. Valores memorizados de las constantes físicas
3. ¿Qué par de los siguientes aparece entero en el texto como ejemplo de física en medicina?

- a. La resonancia magnética y la radioterapia contra el cáncer
 - b. Las vacunas y los antibióticos
 - c. Los grupos sanguíneos y la genética
 - d. Las dietas y las vitaminas
4. ¿Por qué estudiar física hace más fáciles de entender otras ciencias?
- a. Porque otras ciencias copian sus libros de la física
 - b. Porque la física evita las matemáticas
 - c. Porque la física es la ciencia más antigua
 - d. Porque la física ha conservado los aspectos más básicos de la ciencia, así que todas las ciencias la usan

Respuestas

- 1. b)** La química trata de las interacciones de átomos y moléculas, así que tiene sus raíces en la física atómica y molecular.
- 2. c)** No es necesario estudiar cada aplicación; lo que más importa son las leyes básicas y la habilidad para aplicarlas.
- 3. a)** La física interviene en el diagnóstico, como la resonancia magnética, y la radioterapia contra el cáncer usa radiación ionizante.
- 4. d)** La física conserva los aspectos más básicos de la ciencia, así que todas las ciencias la usan.

Ejercicios

- 1.** Nombre tres disciplinas ajenas a la física que, según el texto, dependen de ella, y diga para cada una qué aporta la física.

Pista: Fíjese en la química, la ingeniería, la arquitectura y la geología.

Respuesta: La química se apoya en la física atómica y molecular porque trata de átomos y moléculas. En arquitectura, la física sostiene la estabilidad estructural y la acústica, la calefacción, la iluminación y la refrigeración de los edificios. La geología usa la física para la datación radiactiva de rocas, el análisis de terremotos y la transferencia de calor en la Tierra.

2. El texto dice que no hace falta ser científico para usar la física. Dé dos ejemplos cotidianos del texto y explique qué le ayuda a entender la física en cada uno.

Pista: Piense en la cocina y en una casa o un coche.

Respuesta: La física le ayuda a entender cómo funciona un horno de microondas y por qué no se debe meter metal en él. También explica por qué un tejado blanco mantiene fresca una casa y por qué un radiador negro ayuda a eliminar el calor del motor de un coche.

Modelos, teorías y leyes; el papel de la experimentación

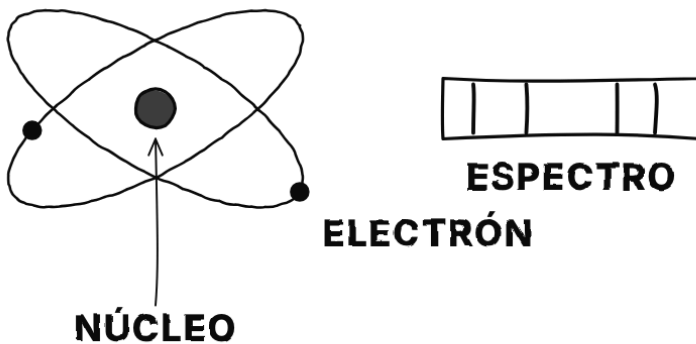
Las leyes de la naturaleza son descripciones concisas del universo que nos rodea; son enunciados humanos de las leyes o reglas de fondo que siguen todos los procesos naturales. Estas leyes son intrínsecas al universo; los seres humanos no las crearon y por tanto no pueden cambiarlas. Solo podemos descubrirlas y entenderlas. Su descubrimiento es una empresa muy humana, con todos los elementos de misterio, imaginación, lucha, triunfo y decepción propios de cualquier esfuerzo creativo. La piedra angular del descubrimiento de las leyes naturales es la observación; la ciencia debe describir el universo tal como es, no como podamos imaginarlo.

Todos somos curiosos en alguna medida. Miramos a nuestro alrededor, generalizamos e intentamos entender lo que vemos; por ejemplo, miramos al cielo y nos preguntamos si cierto tipo de nube anuncia una tormenta. Cuando nos tomamos en serio la exploración de la naturaleza, nos volvemos más organizados y rigurosos al reunir y analizar datos. Buscamos más precisión, hacemos experimentos controlados (si podemos) y anotamos ideas sobre cómo podrían organizarse y unificarse los datos. Después formulamos modelos, teorías y leyes basados en los datos reunidos y analizados, para generalizar y comunicar los resultados de esos experimentos.

Un modelo es una representación de algo que a menudo es demasiado difícil (o imposible) de mostrar directamente. Aunque un modelo esté justificado con pruebas experimentales, solo es exacto en situaciones limitadas. Un ejemplo es el modelo planetario del átomo, en el que los

electrones se imaginan girando alrededor del núcleo, de forma parecida a como los planetas giran alrededor del Sol. No podemos observar directamente las órbitas de los electrones, pero la imagen mental ayuda a explicar las observaciones que sí podemos hacer, como la emisión de luz de los gases calientes (espectros atómicos). Los físicos usan modelos con fines muy variados. Por ejemplo, los modelos pueden ayudar a los físicos a analizar una situación y hacer un cálculo, o pueden servir para representar una situación en forma de simulación por ordenador.

MODELO LIMITADO

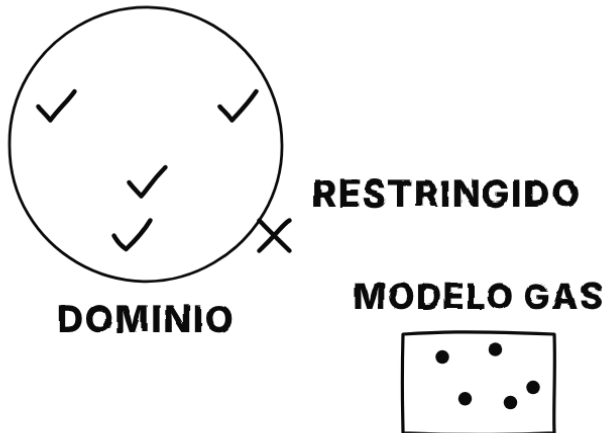


El modelo planetario del átomo

La palabra teoría significa para los científicos algo distinto de lo que se suele entender cuando se usa en la conversación cotidiana. En particular, para un científico una teoría no es lo mismo que una

«suposición», una «idea» o ni siquiera una «hipótesis». La frase «es solo una teoría» les parece absurda y sin sentido a los científicos, porque la ciencia se basa en la noción de teoría. Para un científico, una teoría es una explicación comprobable de regularidades de la naturaleza, respaldada por pruebas científicas y verificada muchas veces por distintos grupos de investigadores. Algunas teorías incluyen modelos que ayudan a visualizar los fenómenos y otras no. La teoría de la gravedad de Newton, por ejemplo, no necesita un modelo ni una imagen mental, porque podemos observar los objetos directamente con nuestros sentidos. Aunque los modelos solo pretenden describir con exactitud ciertos aspectos de un sistema físico, una teoría debe describir todos los aspectos de cualquier sistema que entre en su dominio de aplicabilidad. En particular, toda consecuencia de una teoría que pueda comprobarse experimentalmente debe verificarse. Si alguna vez un experimento muestra que una consecuencia de una teoría es falsa, la teoría se descarta o se modifica de forma adecuada (por ejemplo, limitando su dominio de aplicabilidad).

TEORÍA



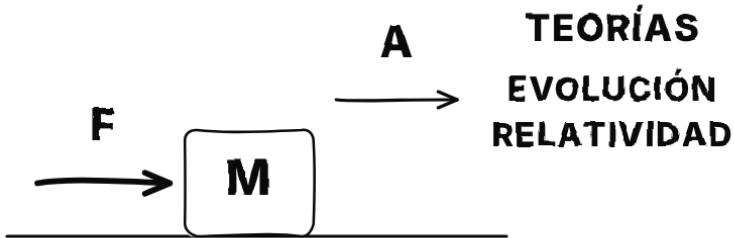
Una teoría se prueba en su dominio

Algunas teorías incluyen modelos que ayudan a visualizar los fenómenos y otras no. La teoría de la gravedad de Newton, por ejemplo, no necesita un modelo ni una imagen mental, porque podemos observar los objetos directamente con nuestros sentidos. La teoría cinética de los gases, en cambio, es un modelo en el que se considera que un gas está formado por átomos y moléculas. Los átomos y las moléculas son demasiado pequeños para observarlos directamente con los sentidos; por eso los imaginamos para entender lo que nos dicen los instrumentos sobre el comportamiento de los gases.

Una ley usa un lenguaje conciso para describir una regularidad general de la naturaleza respaldada por pruebas científicas y

experimentos repetidos. A menudo una ley puede expresarse en forma de una sola ecuación matemática. Las leyes y las teorías se parecen en que ambas son enunciados científicos que resultan de una hipótesis comprobada y están respaldados por pruebas científicas. Sin embargo, el nombre de ley se reserva para un enunciado conciso y muy general que describe fenómenos de la naturaleza, como la ley de que la energía se conserva en cualquier proceso, o la segunda ley del movimiento de Newton, que relaciona fuerza, masa y aceleración mediante la sencilla ecuación $F = ma$. Una teoría, en cambio, es un enunciado menos conciso de fenómenos observados. Por ejemplo, la teoría de la evolución y la teoría de la relatividad no pueden expresarse de forma lo bastante concisa como para considerarse una ley. La mayor diferencia entre una ley y una teoría es que una teoría es mucho más compleja y dinámica. Una ley describe una sola acción, mientras que una teoría explica todo un grupo de fenómenos relacionados. Y, mientras que una ley es un postulado que forma la base del método científico, una teoría es el resultado final de ese proceso.

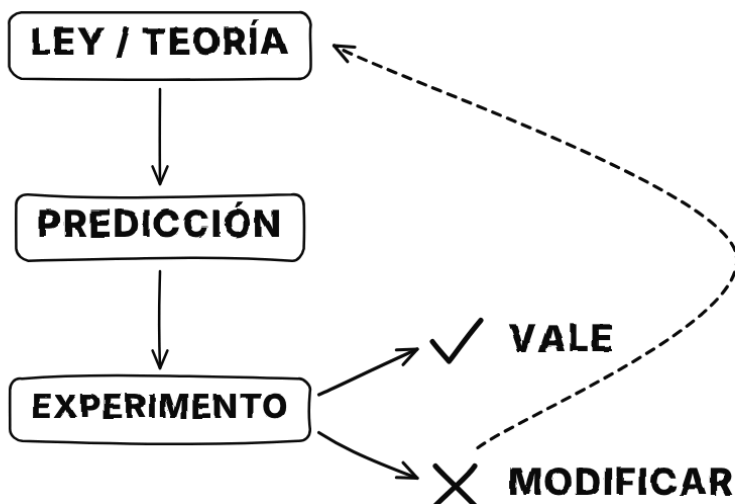
$$F = m a$$



Una ley en una ecuación

Los enunciados de aplicación menos amplia suelen llamarse principios (como el principio de Pascal, que solo se aplica a los fluidos), pero la distinción entre leyes y principios a menudo no se hace con cuidado.

Los modelos, las teorías y las leyes sirven para ayudar a los científicos a analizar los datos que ya han reunido. Sin embargo, a menudo, una vez desarrollado un modelo, una teoría o una ley, este señala a los científicos nuevos descubrimientos que de otro modo no habrían hecho.



La predicción frente al experimento

Los modelos, teorías y leyes que ideamos a veces implican la existencia de objetos o fenómenos aún no observados. Estas predicciones son triunfos notables y homenajes al poder de la ciencia. Es el orden de fondo del universo lo que permite a los científicos hacer predicciones tan espectaculares. Sin embargo, si el experimento no confirma nuestras predicciones, la teoría o la ley es errónea, por elegante o conveniente que sea. Las leyes nunca pueden conocerse con certeza absoluta, porque es imposible hacer todos los experimentos imaginables para confirmar una ley en todas las situaciones posibles. Los físicos trabajan con el supuesto de que todas las leyes y teorías científicas son válidas hasta que se observe un contraejemplo. Si un experimento de buena calidad y verificable

contradice una ley bien establecida, la ley debe modificarse o abandonarse por completo.

Preguntas

1. ¿Por qué a los científicos les parece absurda la frase «es solo una teoría»?
 - a. Porque para un científico una teoría es una explicación comprobable, respaldada por pruebas y verificada muchas veces
 - b. Porque las teorías siempre están demostradas de forma absoluta
 - c. Porque las teorías nunca cambian
 - d. Porque una teoría es lo mismo que una ley
2. ¿Por qué la imagen planetaria del átomo se llama modelo?
 - a. Porque es una copia pequeña hecha de alambre
 - b. Porque se ha demostrado cierta en todas las situaciones
 - c. Porque las órbitas de los electrones no pueden observarse directamente, pero la imagen ayuda a explicar lo que sí podemos observar
 - d. Porque es una sola ecuación
3. ¿Qué le pasa a una teoría si un experimento muestra que una de sus consecuencias es falsa?
 - a. Nada, porque las teorías no se prueban
 - b. Se convierte en ley

- c. Se mantiene sin cambios porque es elegante
 - d. Se descarta o se modifica, por ejemplo limitando su dominio
4. ¿Por qué las leyes nunca pueden conocerse con certeza absoluta?
- a. Porque es imposible hacer todos los experimentos imaginables en todas las situaciones posibles
 - b. Porque las leyes son solo suposiciones
 - c. Porque los científicos discrepan sobre cada ley
 - d. Porque las leyes cambian cada año

Respuestas

1. **a)** Para un científico una teoría no es una suposición, sino una explicación comprobable respaldada por pruebas y verificada repetidamente por distintos grupos.
2. **c)** Un modelo representa algo que no podemos mostrar directamente; la imagen mental explica observaciones como la luz de los gases calientes.
3. **d)** Si un experimento muestra que una consecuencia es falsa, la teoría se descarta o se modifica adecuadamente.
4. **a)** Es imposible hacer todos los experimentos que confirmarían una ley en todas las situaciones, así que las leyes valen hasta que aparece un contraejemplo.

Ejercicios

1. Explique con sus propias palabras la diferencia entre una ley y una teoría, usando los ejemplos del texto.

Pista: Compare lo concisa que es cada una y cuánto abarca.

Respuesta: Una ley es un enunciado conciso y muy general de una regularidad, a menudo una sola ecuación, como la conservación de la energía o la segunda ley de Newton, $F = ma$. Una teoría es menos concisa y más compleja; explica todo un grupo de fenómenos relacionados, como la teoría de la evolución o la teoría de la relatividad.

2. ¿Por qué la teoría de la gravedad de Newton no necesita un modelo y la teoría cinética de los gases sí?

Pista: Pregúntese si los objetos en juego pueden verse con los sentidos.

Respuesta: Los objetos de la gravedad, como los cuerpos que caen y los planetas, pueden observarse directamente con los sentidos. Los átomos y moléculas de un gas son demasiado pequeños para observarlos, así que los imaginamos para entender lo que nos dicen los instrumentos.

3. El texto dice que una ley, por elegante que sea, debe modificarse o abandonarse en cierto caso. ¿En qué caso y por qué?

Pista: Piense en lo que debe describir la ciencia: el universo tal como es o tal como lo imaginamos.

Respuesta: Cuando la contradice un experimento de buena calidad y verificable. La ciencia debe describir el universo tal como es, así que deciden la observación y el experimento, no la elegancia ni la comodidad.

El método científico y el nacimiento de la física moderna

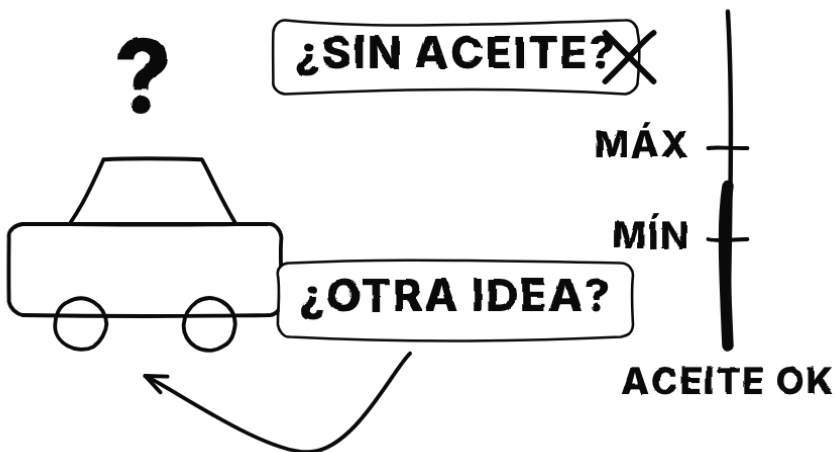
El estudio de la ciencia en general y de la física en particular es una aventura muy parecida a la exploración de un océano sin cartografiar. Se hacen descubrimientos; se formulan modelos, teorías y leyes; y la belleza del universo físico se vuelve más sublime gracias a lo que se comprende.

Ibn al-Haytham (a veces llamado Alhacén), un científico de los siglos X y XI que trabajó en El Cairo, hizo avanzar notablemente la comprensión de la óptica y la visión. Pero sus aportaciones van mucho más allá. Al demostrar que los enfoques anteriores eran erróneos, insistió en que los científicos deben estar dispuestos a rechazar el conocimiento existente y convertirse en «el enemigo» de todo lo que leen; afirmó que los científicos solo deben confiar en las pruebas objetivas. Al-Haytham insistió en la experimentación y la comprobación repetidas, y reconoció que los sentidos y las ideas previas podían llevar a conclusiones pobres. Su obra fue precursora del método científico que usamos hoy.

Cuando los científicos investigan y reúnen información sobre el mundo, siguen un proceso llamado método científico. Este proceso suele empezar con una observación y una pregunta que el científico va a investigar. Después, el científico suele documentarse sobre el tema y luego formula una hipótesis. A continuación, el científico pone a prueba la hipótesis mediante un experimento. Por último, el científico analiza los resultados del experimento y saca una conclusión. Observe que el método científico puede aplicarse a muchas situaciones que no

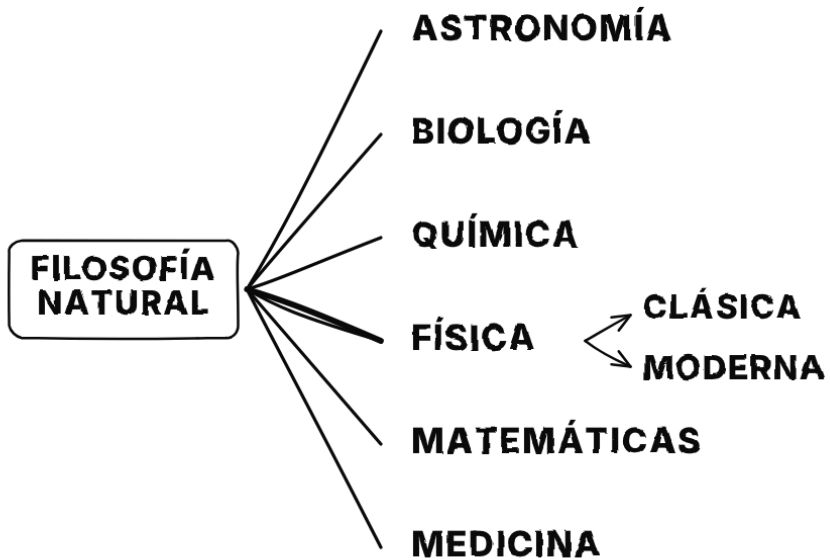
se limitan a la ciencia, y que puede modificarse para ajustarse a cada situación.

Veamos un ejemplo. Supongamos que intenta arrancar su coche, pero no arranca. Sin duda se preguntará: ¿por qué no arranca el coche? Puede seguir un método científico para responder a esta pregunta. Para empezar, puede documentarse para conocer las distintas razones por las que un coche no arranca. Después formulará una hipótesis. Por ejemplo, puede pensar que el coche no arranca porque no tiene aceite de motor. Para comprobarlo, abre el capó y mira el nivel de aceite. Observa que el aceite está a un nivel aceptable, y por tanto concluye que el nivel de aceite no tiene que ver con el problema del coche. Para seguir buscando la avería, puede plantear una nueva hipótesis que comprobar y repetir de nuevo el proceso.



¿Por qué no arranca el coche?

La física no siempre fue una disciplina separada y diferenciada. Sigue conectada con otras ciencias hasta hoy. La palabra física viene del griego y significa naturaleza. El estudio de la naturaleza pasó a llamarse «filosofía natural». Desde la Antigüedad hasta el Renacimiento, la filosofía natural abarcaba muchos campos, entre ellos la astronomía, la biología, la química, la física, las matemáticas y la medicina. En los últimos siglos, el crecimiento del conocimiento ha llevado a una especialización cada vez mayor y a la ramificación de la filosofía natural en campos separados, y la física ha conservado sus facetas más básicas. La física tal como se desarrolló desde el Renacimiento hasta finales del siglo XIX se llama física clásica. Se transformó en física moderna gracias a descubrimientos revolucionarios hechos a partir de comienzos del siglo XX.



La filosofía natural se ramifica

La física clásica no es una descripción exacta del universo, pero es una aproximación excelente en las siguientes condiciones: la materia debe moverse a velocidades inferiores a aproximadamente el 1 % de la velocidad de la luz, los objetos considerados deben ser lo bastante grandes para verse con un microscopio, y solo pueden intervenir campos gravitatorios débiles, como el que genera la Tierra. Como los seres humanos vivimos en esas circunstancias, la física clásica parece intuitivamente razonable, mientras que muchos aspectos de la física moderna parecen extraños. Por eso los modelos son tan útiles en la física moderna: nos permiten concebir fenómenos que normalmente no experimentamos. Podemos entender los modelos en términos humanos y visualizar lo que ocurre cuando los objetos se mueven a gran velocidad, o imaginar cómo podrían ser objetos demasiado

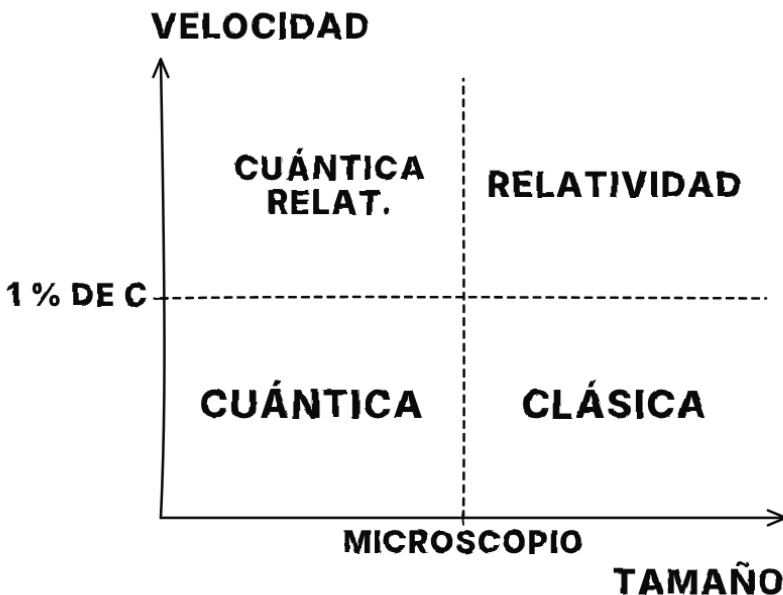
pequeños para observarlos con los sentidos. Por ejemplo, podemos entender las propiedades de un átomo porque podemos imaginarlo, aunque nunca hayamos visto un átomo con nuestros ojos. Las nuevas herramientas, por supuesto, nos permiten imaginar mejor fenómenos que no podemos ver. De hecho, la nueva instrumentación nos ha permitido en los últimos años «fotografiar» realmente el átomo.

Para que se apliquen las leyes de la física clásica deben cumplirse los siguientes criterios: la materia debe moverse a velocidades inferiores a aproximadamente el 1 % de la velocidad de la luz, los objetos considerados deben ser lo bastante grandes para verse con un microscopio, y solo pueden intervenir campos gravitatorios débiles (como el que genera la Tierra).

Algunos de los avances más espectaculares de la ciencia se han producido en la física moderna. Muchas leyes de la física clásica se han modificado o rechazado, y de ello han resultado cambios revolucionarios en la tecnología, la sociedad y nuestra visión del universo. Como la ciencia ficción, la física moderna está llena de objetos fascinantes más allá de nuestra experiencia normal, pero tiene sobre la ciencia ficción la ventaja de ser muy real. ¿Por qué, entonces, la mayor parte de este texto se dedica a temas de física clásica? Hay dos razones principales: la física clásica da una descripción extremadamente exacta del universo en una amplia gama de circunstancias cotidianas, y conocer la física clásica es necesario para entender la física moderna.

La física moderna consta de dos teorías revolucionarias, la relatividad y la mecánica cuántica. Estas teorías tratan, respectivamente, de lo muy rápido y de lo muy pequeño. La relatividad debe usarse siempre que un objeto viaje a más de aproximadamente el 1 % de la velocidad

de la luz o esté sometido a un campo gravitatorio intenso, como el que hay cerca del Sol. La mecánica cuántica debe usarse para objetos más pequeños de lo que puede verse con un microscopio. La combinación de estas dos teorías es la mecánica cuántica relativista, que describe el comportamiento de objetos pequeños que viajan a gran velocidad o están sometidos a un campo gravitatorio intenso. La mecánica cuántica relativista es la mejor teoría de aplicación universal que tenemos. Por su complejidad matemática, solo se usa cuando es necesario, y las demás teorías se usan siempre que den resultados lo bastante exactos. Veremos, sin embargo, que podemos hacer mucha física moderna con el álgebra y la trigonometría que se usan en este texto.



Qué teoría usar

Preguntas

1. En el método científico tal como lo describe el texto, ¿qué viene justo después de formular una hipótesis?
 - a. Sacar una conclusión
 - b. Ponerla a prueba con un experimento
 - c. Hacer una nueva pregunta
 - d. Publicar el resultado
2. ¿Por qué la física clásica nos parece intuitivamente razonable mientras que la física moderna parece extraña?
 - a. Porque la física clásica es exacta y la moderna no
 - b. Porque la física moderna no se ha comprobado
 - c. Porque vivimos en las condiciones en que funciona la física clásica: velocidades bajas, objetos visibles, gravedad débil
 - d. Porque la física clásica se descubrió primero
3. Un objeto es más pequeño de lo que puede verse con un microscopio. ¿Qué teoría debe usarse para describirlo?
 - a. La mecánica cuántica
 - b. La relatividad
 - c. La física clásica
 - d. La filosofía natural
4. ¿Por qué la mayor parte del texto se dedica a la física clásica, aunque la moderna sea más exacta?
 - a. Porque la física moderna es solo ciencia ficción
 - b. Porque la física moderna no puede hacerse con álgebra

- c. Porque la física clásica nunca se ha modificado
- d. Porque la física clásica es muy exacta en circunstancias cotidianas y es necesaria para entender la moderna

Respuestas

1. **b)** El científico formula una hipótesis y después la pone a prueba con un experimento, antes de analizar los resultados.
2. **c)** Los seres humanos vivimos entre velocidades bajas, objetos lo bastante grandes para verse y gravedad débil, justo donde la física clásica es una aproximación excelente.
3. **a)** La mecánica cuántica debe usarse para objetos más pequeños de lo que puede verse con un microscopio.
4. **d)** El texto da dos razones: la física clásica es extremadamente exacta en circunstancias cotidianas y es necesaria para entender la física moderna.

Ejemplos resueltos

¿Por qué no arranca el coche? Su coche no arranca. Use el método científico, como hace el texto, para comprobar la idea de que no tiene aceite de motor.

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

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

Hipótesis: el coche no arranca porque no tiene aceite de motor.

Experimento: abra el capó y mire el nivel de aceite.

Análisis y conclusión: el aceite está a un nivel aceptable, así que no es la causa; plantee una nueva hipótesis y repita.

Respuesta: La hipótesis del aceite se descarta; hay que comprobar una nueva hipótesis.

Ejercicios

1. Para cada caso, diga qué teoría debe usarse según el texto: (a) una nave espacial que se mueve a más de aproximadamente el 1 % de la velocidad de la luz; (b) un electrón dentro de un átomo; (c) una pelota lanzada en la Tierra.

Pista: Recuerde las tres condiciones en que la física clásica es una buena aproximación.

Respuesta: (a) La relatividad, porque va más rápido que aproximadamente el 1 % de la velocidad de la luz. (b) La mecánica cuántica, porque es más pequeño de lo que puede verse con un microscopio. (c) La física clásica, porque es lenta, visible y está en la gravedad débil de la Tierra.

2. ¿Qué aportó Ibn al-Haytham a la forma de hacer ciencia, más allá de su trabajo en óptica?

Pista: Piense en su actitud ante el conocimiento existente y ante las pruebas.

Respuesta: Insistió en que los científicos estuvieran dispuestos a rechazar el conocimiento existente y a confiar solo en las pruebas objetivas, subrayó la experimentación y la comprobación repetidas y advirtió de que nuestros sentidos y nuestras ideas previas pueden engañarnos. Eso hizo de su obra una precursora del método científico.

Magnitudes físicas y unidades

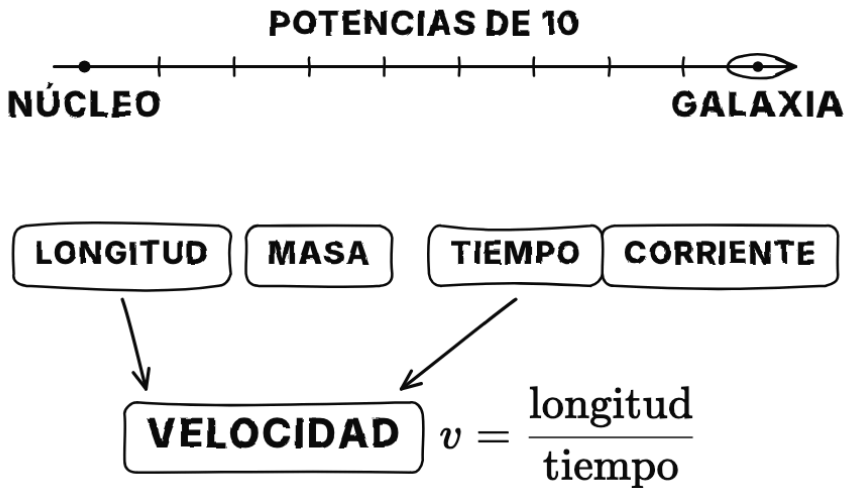
Compruebe lo que ha entendido. Un amigo le cuenta que ha aprendido una nueva ley de la naturaleza. ¿Qué puede saber de esa información antes incluso de que su amigo describa la ley? ¿En qué cambiaría la información si su amigo le dijera que ha aprendido una teoría científica y no una ley?

Sin conocer los detalles de la ley, puede deducir que lo que su amigo ha aprendido cumple los requisitos de todas las leyes de la naturaleza: será una descripción concisa del universo que nos rodea, un enunciado de las reglas de fondo que siguen todos los procesos naturales. Si la información hubiera sido una teoría, podría deducir que será una generalización a gran escala y de aplicación amplia.

Graficador de ecuaciones: aprenda a representar polinomios. La forma de la curva cambia al ajustar las constantes. Vea las curvas de los términos individuales (por ejemplo, $y = bx$) para ver cómo se suman y generan la curva del polinomio.

La variedad de objetos y fenómenos que estudia la física es inmensa. Desde la vida increíblemente corta de un núcleo hasta la edad de la Tierra, desde el tamaño diminuto de las partículas subnucleares hasta la enorme distancia a los confines del universo conocido, desde la fuerza que ejerce una pulga al saltar hasta la fuerza entre la Tierra y el Sol, hay suficientes potencias de 10 como para desafiar la imaginación hasta del científico más experimentado. Dar valores numéricos a las magnitudes físicas y ecuaciones a los principios físicos nos permite entender la naturaleza mucho más a fondo que la mera descripción cualitativa. Para abarcar estos enormes intervalos, también

necesitamos unidades aceptadas con las que expresarlos. Y veremos que (incluso en la conversación, en apariencia trivial, sobre metros, kilogramos y segundos) aparece una profunda sencillez de la naturaleza: la mayoría de las magnitudes físicas pueden expresarse como combinaciones de solo cuatro magnitudes físicas fundamentales: longitud, masa, tiempo y corriente eléctrica.



Cuatro magnitudes fundamentales

Una magnitud física se define o bien indicando cómo se mide o bien indicando cómo se calcula a partir de otras mediciones. Por ejemplo, definimos la distancia y el tiempo indicando métodos para medirlos, mientras que definimos la velocidad media diciendo que se calcula como la distancia recorrida dividida entre el tiempo de recorrido.

Las mediciones de magnitudes físicas se expresan en unidades, que son valores normalizados. Por ejemplo, la longitud de una carrera, que es una magnitud física, puede expresarse en metros (para los velocistas) o en kilómetros (para los fondistas). Sin unidades normalizadas, a los científicos les resultaría difícilísimo expresar y comparar valores medidos de forma significativa.

En el mundo se usan dos grandes sistemas de unidades: las unidades del SI (también llamado sistema métrico) y las unidades inglesas (también llamadas sistema tradicional o imperial). Las unidades inglesas se usaron históricamente en los países que un día gobernó el Imperio británico y todavía se usan mucho en Estados Unidos. Prácticamente todos los demás países del mundo usan hoy las unidades del SI como estándar; el sistema métrico es también el sistema estándar acordado por científicos y matemáticos. La sigla «SI» procede del francés *Système International*.

La tabla de unidades fundamentales del SI recoge las unidades que se usan en todo este libro: para la longitud, el metro (m); para la masa, el kilogramo (kg); para el tiempo, el segundo (s); y para la corriente eléctrica, el amperio (A). Este texto usa unidades ajenas al SI en unas pocas aplicaciones en que son de uso muy común, como la medida de la presión arterial en milímetros de mercurio (mm Hg). Siempre que se traten unidades ajenas al SI, se relacionarán con las del SI mediante conversiones.

Es un hecho curioso que algunas magnitudes físicas sean más fundamentales que otras y que las más fundamentales solo puedan definirse mediante el procedimiento con que se miden. Por eso las unidades en que se miden se llaman unidades fundamentales. En este libro se toman como magnitudes físicas fundamentales la longitud, la

masa, el tiempo y la corriente eléctrica. (Tenga en cuenta que la corriente eléctrica no se presentará hasta mucho más adelante.) Todas las demás magnitudes físicas, como la fuerza y la carga eléctrica, pueden expresarse como combinaciones algebraicas de longitud, masa, tiempo y corriente (por ejemplo, la velocidad es longitud dividida entre tiempo); estas unidades se llaman unidades derivadas.

Preguntas

1. Según el texto, ¿cómo se define la velocidad media?
 - a. Mediante un método para medirla directamente, como una regla
 - b. Calculándola como la distancia recorrida dividida entre el tiempo de recorrido
 - c. Como una de las cuatro magnitudes fundamentales
 - d. Comparándola con la velocidad de la luz
2. ¿Por qué son necesarias las unidades normalizadas?
 - a. Porque sin ellas los científicos no podrían expresar y comparar valores medidos de forma significativa
 - b. Porque hacen los números más pequeños
 - c. Porque todos los países deben usar el mismo idioma
 - d. Porque las magnitudes físicas cambian con el tiempo
3. ¿Cuál de estas es una magnitud derivada y no fundamental en este libro?
 - a. La longitud

- b. La masa
 - c. El tiempo
 - d. La velocidad
4. Según el texto, ¿qué hace que una magnitud física sea fundamental?
- a. Es la mayor magnitud de la naturaleza
 - b. Solo puede definirse mediante el procedimiento con que se mide
 - c. Fue la primera en descubrirse
 - d. Se mide en unidades inglesas

Respuestas

1. **b)** La distancia y el tiempo se definen por cómo se miden, pero la velocidad media se define por cómo se calcula a partir de ellos.
2. **a)** Sin unidades normalizadas sería difícilísimo expresar y comparar valores medidos de forma significativa.
3. **d)** La velocidad es longitud dividida entre tiempo, una combinación algebraica de magnitudes fundamentales, así que su unidad es derivada.
4. **b)** Las magnitudes más fundamentales solo pueden definirse mediante el procedimiento con que se miden; sus unidades son unidades fundamentales.

Ejemplos resueltos

¿Ley o teoría? Un amigo dice que ha aprendido una nueva ley de la naturaleza. ¿Qué puede saber de ella antes de que la describa, y qué cambiaría si fuera una teoría?

Toda ley de la naturaleza es una descripción concisa del universo, un enunciado de las reglas de fondo que siguen todos los procesos naturales.

Así que, aun sin detalles, la ley de su amigo debe ser un enunciado conciso de una regla de fondo.

Una teoría, en cambio, es una generalización a gran escala y de aplicación amplia, no una regla concisa.

Respuesta: Una ley será un enunciado conciso de una regla de fondo de la naturaleza; una teoría sería una generalización a gran escala y de aplicación amplia.

Ejercicios

1. Clasifique en magnitudes fundamentales y derivadas, según las define este libro: masa, velocidad, corriente eléctrica, fuerza, tiempo.

Pista: El libro nombra exactamente cuatro magnitudes fundamentales.

Respuesta: Fundamentales: la masa, la corriente eléctrica y el tiempo (la cuarta es la longitud). Derivadas: la velocidad (longitud dividida entre tiempo) y la fuerza, que son combinaciones algebraicas de las magnitudes fundamentales.

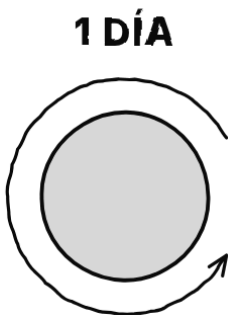
2. Un corredor completa una carrera de 400 metros en 50 segundos. Usando la definición del texto, ¿cuál es su velocidad media?

Pista: La velocidad media se calcula como la distancia recorrida dividida entre el tiempo de recorrido.

Respuesta: 8 metros por segundo: $400 \text{ m entre } 50 \text{ s}$. La unidad, metros por segundo, es una unidad derivada, longitud dividida entre tiempo.

El segundo, el metro y el kilogramo

La unidad de tiempo del SI, el segundo (abreviado s), tiene una larga historia. Durante muchos años se definió como $1/86\,400$ de un día solar medio. Más recientemente se adoptó un nuevo patrón para ganar exactitud y definir el segundo mediante un fenómeno físico invariable, o constante (porque el día solar se está alargando debido a la desaceleración muy gradual de la rotación de la Tierra). Los átomos de cesio pueden hacerse vibrar de forma muy estable, y esas vibraciones pueden observarse y contarse fácilmente. En 1967 el segundo se redefinió como el tiempo necesario para $9\,192\,631\,770$ de estas vibraciones. La exactitud de las unidades fundamentales es esencial, porque todas las mediciones se expresan en última instancia en unidades fundamentales y no pueden ser más exactas que las propias unidades fundamentales.



1 DÍA

$\frac{1}{86\,400}$ día

SE FRENA

CESIO



9,192,631,770

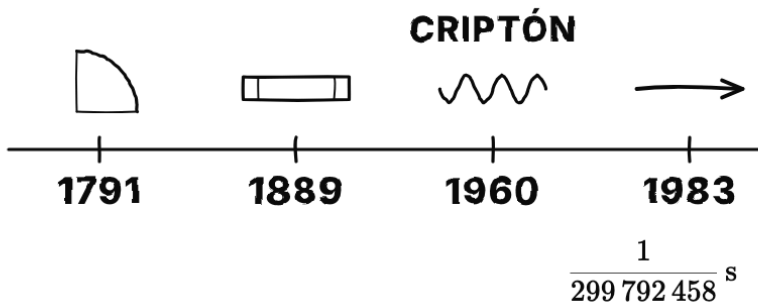
VIBRACIONES = 1 S

Cómo se define el segundo

La unidad de longitud del SI es el metro (abreviado m); su definición también ha cambiado con el tiempo para hacerse más exacta y precisa. El metro se definió por primera vez en 1791 como 1/10 000 000 de la distancia del ecuador al Polo Norte. Esta medida se mejoró en 1889 redefiniendo el metro como la distancia entre dos líneas grabadas en una barra de platino e iridio que hoy se guarda cerca de París. Hacia 1960 se había vuelto posible definir el metro con aún más exactitud mediante la longitud de onda de la luz, así que se redefinió de nuevo como 1 650 763,73 longitudes de onda de la luz naranja emitida por átomos de criptón. En 1983 el metro recibió su definición actual (en parte para ganar exactitud): la distancia que recorre la luz en el vacío en 1/299 792 458 de segundo. Este cambio fija la velocidad de la luz en exactamente 299 792 458 metros por segundo. La

longitud del metro cambiará si algún día se mide la velocidad de la luz con mayor exactitud.

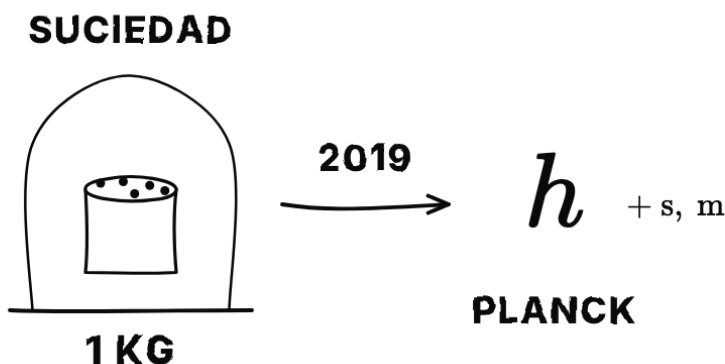
$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$



Cuatro definiciones del metro

La unidad de masa del SI es el kilogramo (abreviado kg); antes se definía como la masa de un cilindro de platino e iridio guardado junto al antiguo patrón del metro en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, cerca de París. También se guardan réplicas exactas del antiguo kilogramo en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos, el NIST, en Gaithersburg (Maryland), a las afueras de Washington D. C., y en otros lugares del mundo. La determinación de todas las demás masas podía remontarse en último término a una comparación con la masa patrón. Aunque el cilindro de platino e iridio resistía la corrosión, los contaminantes del aire podían

adherirse a su superficie y cambiar ligeramente su masa con el tiempo. En mayo de 2019 la comunidad científica adoptó una definición más estable del kilogramo. Ahora el kilogramo se define mediante el segundo, el metro y la constante de Planck, h (un valor de la mecánica cuántica que relaciona la energía de un fotón con su frecuencia).



Cómo se define el kilogramo

La corriente eléctrica y su unidad, el amperio, se presentarán en el capítulo sobre corriente eléctrica, resistencia y ley de Ohm, cuando se trate la electricidad y el magnetismo. Los primeros módulos de este libro tratan de mecánica, fluidos, calor y ondas. En estos temas todas las magnitudes físicas pertinentes pueden expresarse mediante las unidades fundamentales de longitud, masa y tiempo.

Preguntas

1. ¿Por qué se redefinió el segundo mediante las vibraciones del cesio y no mediante el día solar?
 - a. Porque el día solar se alarga poco a poco, así que no es constante
 - b. Porque el cesio es más barato que un reloj
 - c. Porque el día solar es demasiado corto para medirlo
 - d. Porque las vibraciones del cesio se ven mejor a simple vista
2. ¿Por qué importa tanto la exactitud de las unidades fundamentales?
 - a. Porque solo las usan los científicos
 - b. Porque es caro conservarlas
 - c. Porque toda medición se expresa en ellas y no puede ser más exacta que ellas
 - d. Porque cambian cada año
3. ¿Qué se deduce de definir el metro como la distancia que recorre la luz en $1/299\,792\,458$ de segundo?
 - a. La velocidad de la luz se mide de forma más aproximada
 - b. La velocidad de la luz es exactamente 299 792 458 metros por segundo por definición
 - c. El metro se alarga cada año
 - d. La luz recorre un metro cada segundo
4. ¿Por qué se sustituyó en 2019 el antiguo kilogramo de platino e iridio?

- a. Se perdió
- b. Se oxidó por completo
- c. Era demasiado pesado para compararlo
- d. Los contaminantes del aire se le pegaban y cambiaban ligeramente su masa con el tiempo

Respuestas

- 1. **a)** La rotación de la Tierra se va frenando, así que el día solar se alarga; las vibraciones del cesio dan un patrón constante.
- 2. **c)** Todas las mediciones se expresan en última instancia en unidades fundamentales y no pueden ser más exactas que esas unidades.
- 3. **b)** Fijar el metro mediante el tiempo de viaje de la luz define la velocidad de la luz como exactamente 299 792 458 metros por segundo.
- 4. **d)** Aunque resistía la corrosión, el cilindro acumulaba contaminantes del aire que cambiaban ligeramente su masa, así que se adoptó una definición más estable.

Ejemplos resueltos

De dónde sale 1/86 400 El segundo se definió en su día como $1/86\,400$ de un día solar medio. Demuestre que un día tiene 86 400 segundos.

Un día tiene 24 horas.

Cada hora tiene 60 minutos, así que un día tiene $24 \times 60 = 1440$ minutos.

Cada minuto tiene 60 segundos, así que un día tiene $1440 \times 60 = 86\,400$ segundos.

Por tanto, un segundo es $1/86\,400$ de un día.

Respuesta: 86 400 segundos en un día

Ejercicios

1. El metro se definió por primera vez en 1791 como $1/10\,000\,000$ de la distancia del ecuador al Polo Norte. Según esa definición, ¿qué distancia hay del ecuador al polo, en kilómetros?

Pista: Si un metro es una diezmillonésima de la distancia, la distancia son diez millones de metros.

Respuesta: 10 000 km: 10 000 000 m, y 1000 m forman 1 km.

2. La luz recorre 299 792 458 metros en un segundo. ¿Qué distancia recorre aproximadamente en una milésima de segundo?

Pista: Divida la distancia de un segundo entre 1000.

Respuesta: Unos 300 000 metros, o 300 km: $299\,792\,458 \div 1000 \approx 299\,792$ m.

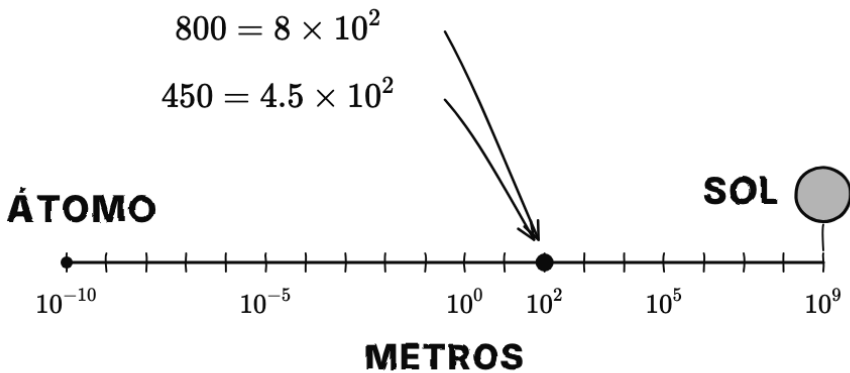
Prefijos métricos

Las unidades del SI forman parte del sistema métrico. El sistema métrico es cómodo para los cálculos científicos y de ingeniería porque las unidades se organizan por factores de 10. La tabla de prefijos métricos da los prefijos y símbolos que se usan para indicar distintos factores de 10.

Los sistemas métricos tienen la ventaja de que las conversiones de unidades solo implican potencias de 10. Hay 100 centímetros en un metro, 1000 metros en un kilómetro, y así sucesivamente. En los sistemas no métricos, como el sistema de unidades tradicionales de Estados Unidos, las relaciones no son tan sencillas: hay 12 pulgadas en un pie, 5280 pies en una milla, y así sucesivamente. Otra ventaja del sistema métrico es que la misma unidad puede usarse en intervalos de valores enormemente amplios simplemente eligiendo el prefijo métrico adecuado. Por ejemplo, las distancias en metros son adecuadas en la construcción, las distancias en kilómetros son apropiadas para los viajes en avión, y la diminuta medida de los nanómetros resulta cómoda en el diseño óptico. Con el sistema métrico no hace falta inventar nuevas unidades para aplicaciones concretas.

El término orden de magnitud se refiere a la escala de un valor expresado en el sistema métrico. Cada potencia de 10, como 10^0 , 10^1 , 10^2 , etcétera, es un orden de magnitud distinto. Se dice que todas las cantidades que pueden expresarse como producto por una potencia de 10 concreta son del mismo orden de magnitud. Por ejemplo, el número 800 puede escribirse como 8×10^2 , y el número 450 como

$4,5 \times 10^2$. Así, los números 800 y 450 son del mismo orden de magnitud: 10^2 . El orden de magnitud puede entenderse como una estimación aproximada de la escala de un valor. El diámetro de un átomo es del orden de 10^{-10} m, mientras que el diámetro del Sol es del orden de 10^9 m.



Órdenes de magnitud

Las unidades fundamentales descritas en este capítulo son las que producen la mayor exactitud y precisión en la medición. Entre los físicos existe la idea de que, puesto que la materia tiene una subestructura microscópica, lo más satisfactorio sería basar nuestros patrones de medida en objetos microscópicos y en fenómenos físicos fundamentales como la velocidad de la luz. Se ha logrado un patrón

microscópico para el tiempo, basado en las oscilaciones del átomo de cesio.

El patrón de longitud se basó en su día en la longitud de onda de la luz (una longitud a pequeña escala) emitida por cierto tipo de átomo, pero lo ha sustituido la medición más precisa de la velocidad de la luz. Si llega a ser posible medir la masa de los átomos o de una disposición concreta de átomos, como una esfera de silicio, con más precisión que el patrón del kilogramo, quizá pueda basarse la medida de la masa en la pequeña escala. También es posible que algún día los fenómenos eléctricos a pequeña escala permitan basar una unidad de carga en la carga de electrones y protones, pero de momento la corriente y la carga se relacionan con corrientes a gran escala y con fuerzas entre cables.

La tabla de prefijos métricos para potencias de 10 da cada prefijo con su símbolo, su valor y un ejemplo. Exa, símbolo E, es 10^{18} : un exámetro es más o menos la distancia que recorre la luz en un siglo. Peta, símbolo P, es 10^{15} : un petasegundo son unos 30 millones de años. Tera, símbolo T, es 10^{12} : un teravatio es la potencia de un láser potente. Giga, símbolo G, es 10^9 : un gigahercio es una frecuencia de microondas. Mega, símbolo M, es 10^6 : un megacurio es una radiactividad alta. Kilo, símbolo k, es 10^3 : un kilómetro es unos 6/10 de milla. Hecto, símbolo h, es 10^2 : un hectolitro son 26 galones. Deca, símbolo da, es 10^1 : un decagramo es una cucharadita de mantequilla. Sin prefijo, el valor es 10^0 , que es igual a 1. Deci, símbolo d, es 10^{-1} : un decilitro es menos de media lata de refresco. Centi, símbolo c, es 10^{-2} : un centímetro es el grosor de la yema de un dedo. Mili, símbolo m, es 10^{-3} : un milímetro es la altura de una pulga hasta los hombros. Micro, símbolo μ , es 10^{-6} : un micrómetro es un detalle visto al microscopio. Nano, símbolo n, es 10^{-9} : un nanogramo es una pequeña

mota de polvo. Pico, símbolo p, es 10^{-12} : un picofaradio es un condensador pequeño de una radio. Femto, símbolo f, es 10^{-15} : un femtómetro es el tamaño de un protón. Atto, símbolo a, es 10^{-18} : un attosegundo es el tiempo que tarda la luz en cruzar un átomo.

exa	<i>E</i>	10^{18}	deci	<i>d</i>	10^{-1}
peta	<i>P</i>	10^{15}	centi	<i>c</i>	10^{-2}
tera	<i>T</i>	10^{12}	mili	<i>m</i>	10^{-3}
giga	<i>G</i>	10^9	micro	μ	10^{-6}
mega	<i>M</i>	10^6	nano	<i>n</i>	10^{-9}
kilo	<i>k</i>	10^3	pico	<i>p</i>	10^{-12}
			femto	<i>f</i>	10^{-15}
			atto	<i>a</i>	10^{-18}

Prefijos métricos

Preguntas

1. ¿Por qué las conversiones de unidades son más fáciles en el sistema métrico que en las unidades tradicionales de EE. UU.?
 - a. Porque las unidades métricas son más pequeñas

- b. Porque las conversiones métricas solo implican potencias de 10
 - c. Porque el sistema métrico tiene menos magnitudes
 - d. Porque las unidades métricas son más antiguas
2. ¿Por qué 800 y 450 son del mismo orden de magnitud?
- a. Porque ambos son números pares
 - b. Porque ambos son menores que 1000 y mayores que 400
 - c. Porque ambos pueden escribirse como un número por 10^2
 - d. Porque su diferencia es menor que 400
3. Según el texto, ¿para qué unidad básica se ha logrado ya un patrón microscópico?
- a. El tiempo, basado en las oscilaciones del átomo de cesio
 - b. La masa, basada en una esfera de silicio
 - c. La carga eléctrica, basada en los electrones
 - d. La longitud, basada en la luz del criptón
4. Según el texto, ¿cuál es una ventaja de los prefijos métricos?
- a. Hacen que toda magnitud sea un número entero
 - b. Eliminan la necesidad de medir
 - c. Son iguales que las unidades inglesas
 - d. La misma unidad puede usarse en intervalos enormes, sin inventar unidades nuevas

Respuestas

1. **b)** Las conversiones métricas solo implican potencias de 10, como 100 centímetros en un metro, mientras que las tradicionales usan 12 pulgadas por pie y 5280 pies por milla.

- 2. c)** 800 es 8×10^2 y 450 es $4,5 \times 10^2$, así que ambos comparten la potencia 10^2 .
- 3. a)** Se ha logrado un patrón microscópico para el tiempo, basado en las oscilaciones del cesio.
- 4. d)** Con los prefijos, la misma unidad sirve desde los nanómetros en óptica hasta los kilómetros en los viajes en avión, así que no hacen falta unidades nuevas.

Ejemplos resueltos

Del átomo al Sol El diámetro de un átomo es del orden de 10^{-10} m y el del Sol del orden de 10^9 m. ¿En cuántos órdenes de magnitud se diferencian?

Cada orden de magnitud es una potencia de 10.

Ir de 10^{-10} a 10^0 supone 10 potencias de 10.

Ir de 10^0 a 10^9 supone 9 más.

En total, $10 + 9 = 19$ potencias de 10.

Respuesta: 19 órdenes de magnitud

Ejercicios

1. Escriba 3000 metros y 5 milímetros usando prefijos métricos, y diga de qué orden de magnitud es cada uno en metros.

Pista: Kilo es 10^3 y mili es 10^{-3} .

Respuesta: 3000 m = 3 km, que es 3×10^3 m, del orden de 10^3 m. 5 mm = 5×10^{-3} m, del orden de 10^{-3} m.

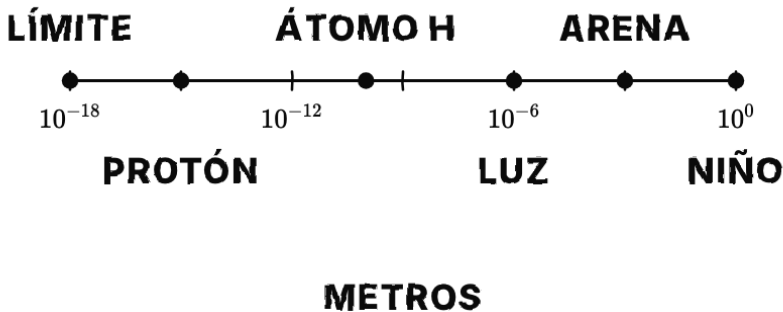
2. ¿Cuántos centímetros hay en un kilómetro?

Pista: Hay 100 centímetros en un metro y 1000 metros en un kilómetro.

Respuesta: 100 000 centímetros: $1000 \times 100 = 100\ 000$, que es 10^5 .

Intervalos conocidos y conversión de unidades

La inmensidad del universo y la amplitud con que se aplica la física se ilustran con la gran variedad de ejemplos de longitudes, masas y tiempos conocidos de la tabla de valores aproximados. Examinar esta tabla le dará una idea del abanico de temas y valores numéricos posibles.

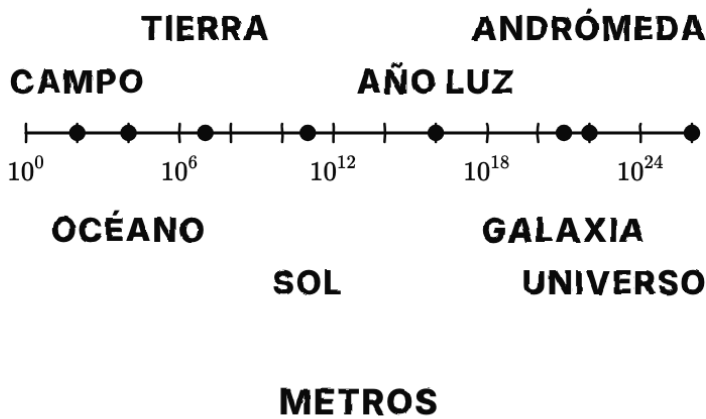


Longitudes pequeñas, potencias de diez

La tabla da las longitudes en metros, las masas en kilogramos y los tiempos en segundos, cada una como potencia de 10, con valores más

precisos entre paréntesis. En 10^{-18} m está el límite experimental actual del detalle observable más pequeño; una masa de 10^{-30} kg es la de un electrón ($9,11 \times 10^{-31}$ kg); y 10^{-23} s es el tiempo que tarda la luz en cruzar un protón. 10^{-15} m es el diámetro de un protón; 10^{-27} kg es la masa de un átomo de hidrógeno ($1,67 \times 10^{-27}$ kg); 10^{-22} s es la vida media de un núcleo extremadamente inestable. 10^{-14} m es el diámetro de un núcleo de uranio; 10^{-15} kg es la masa de una bacteria; 10^{-15} s es el tiempo de una oscilación de la luz visible. 10^{-10} m es el diámetro de un átomo de hidrógeno; 10^{-5} kg es la masa de un mosquito; 10^{-13} s es el tiempo de una vibración de un átomo en un sólido. 10^{-8} m es el grosor de las membranas de las células de los seres vivos; 10^{-2} kg es la masa de un colibrí; 10^{-8} s es el tiempo de una oscilación de una onda de radio FM. 10^{-6} m es la longitud de onda de la luz visible; 1 kilogramo es la masa de un litro de agua (más o menos un cuarto de galón); 10^{-3} s es la duración de un impulso nervioso. 10^{-3} m es el tamaño de un grano de arena; 10^2 kg es la masa de una persona; 1 segundo es el tiempo de un latido. 1 metro es la altura de un niño de 4 años; 10^3 kg es la masa de un coche; 10^5 s es un día ($8,64 \times 10^4$ s). 10^2 m es la longitud de un campo de fútbol; 10^8 kg es la masa de un barco grande; 10^7 s es un año ($3,16 \times 10^7$ s). 10^4 m es la mayor profundidad oceánica; 10^{12} kg es la masa de un gran iceberg; 10^9 s es más o menos la mitad de la esperanza de vida humana. 10^7 m es el diámetro de la Tierra; 10^{15} kg es la masa del núcleo de un cometa; 10^{11} s es la historia escrita. 10^{11} m es la distancia de la Tierra al Sol; 10^{23} kg es la masa de la Luna ($7,35 \times 10^{22}$ kg); 10^{17} s es la edad de la Tierra. 10^{16} m es la distancia que recorre la luz en 1 año, un año luz; 10^{25} kg es la masa de la Tierra ($5,97 \times 10^{24}$ kg); 10^{18} s es la edad del universo. 10^{21} m es el diámetro de la Vía Láctea, y 10^{30} kg es la masa del Sol ($1,99 \times 10^{30}$ kg). 10^{22} m es la distancia de la Tierra a la gran galaxia más cercana, Andrómeda,

y 10^{42} kg es la masa de la Vía Láctea (límite superior actual). 10^{26} m es la distancia de la Tierra a los confines del universo conocido, y 10^{53} kg es la masa del universo conocido (límite superior actual).



Longitudes grandes, potencias de diez

A menudo hace falta convertir de un tipo de unidad a otro. Por ejemplo, si lee un libro de cocina europeo, algunas cantidades pueden estar en litros y necesitará convertirlas a tazas. O quizá está leyendo indicaciones para ir a pie de un sitio a otro y le interesa cuántas millas va a caminar. En ese caso tendrá que convertir pies a millas.

$$80 \text{ m} \rightarrow \text{km}$$

FACTOR DE CONVERSIÓN

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

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

METROS SE CANCELAN

Convertir 80 m en km

Veamos un ejemplo sencillo de cómo convertir unidades.

Supongamos que queremos convertir 80 metros (m) a kilómetros (km).

Lo primero es anotar las unidades que tiene y las unidades a las que quiere convertir. En este caso tenemos metros y queremos convertir a kilómetros.

Después hay que determinar un factor de conversión que relacione metros y kilómetros. Un factor de conversión es una razón que expresa cuántas unidades de un tipo equivalen a otra unidad. Por ejemplo, hay 12 pulgadas en 1 pie, 100 centímetros en 1 metro, 60

segundos en 1 minuto, etcétera. En este caso sabemos que hay 1000 metros en 1 kilómetro.

Ahora podemos plantear la conversión. Escribimos las unidades que tenemos y las multiplicamos por el factor de conversión de modo que las unidades se cancelen, así: $80 \text{ m} \times (1 \text{ km} / 1000 \text{ m}) = 0,080 \text{ km}$.

Observe que la unidad no deseada, m, se cancela y queda solo la unidad deseada, km. Puede usar este método para convertir entre cualesquiera tipos de unidades. El apéndice C da una lista más completa de factores de conversión.

Ejemplo: conversión de unidades, un trayecto corto a casa.

Supongamos que recorre en coche los 10,0 km de su centro de estudios a casa en 20,0 min. Calcule su velocidad media (a) en kilómetros por hora (km/h) y (b) en metros por segundo (m/s).

(Nota: la velocidad media es la distancia recorrida dividida entre el tiempo de recorrido.)

10,0 KM



20,0 MIN

$$\frac{10.0 \text{ km}}{20.0 \text{ min}} = 0.500 \frac{\text{km}}{\text{min}}$$

$$0.500 \frac{\text{km}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 30.0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Un trayecto a casa: 30,0 km/h

Estrategia. Primero calculamos la velocidad media con las unidades dadas. Después pasamos la velocidad media a las unidades deseadas eligiendo el factor de conversión correcto y multiplicando por él. El factor de conversión correcto es el que cancela la unidad no deseada y deja en su lugar la unidad deseada.

Solución de (a). (1) Calcule la velocidad media. La velocidad media es la distancia recorrida dividida entre el tiempo de recorrido. (Tome por ahora esta definición como dada; la velocidad media y otros conceptos del movimiento se tratarán en un módulo posterior.) En forma de ecuación, velocidad media = distancia / tiempo. (2) Sustituya los valores dados de distancia y tiempo: velocidad media = 10,0 km / 20,0 min = 0,500 km/min. (3) Convierta km/min en km/h:

multiplique por el factor de conversión que cancele los minutos y deje las horas. Ese factor de conversión es 60 min/h: $0,500 \text{ km/min} \times 60 \text{ min/1 h} = 30,0 \text{ km/h}$.

Discusión de (a). Para comprobar su respuesta, tenga en cuenta lo siguiente. (1) Asegúrese de haber cancelado bien las unidades en la conversión. Si ha escrito el factor de conversión al revés, las unidades no se cancelarán bien en la ecuación. Si por accidente pone la razón al revés, las unidades no se cancelan, sino que dan unidades erróneas así: $\text{km/min} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min} = (1/60) \text{ km}\cdot\text{h}/\text{min}^2$, que claramente no son las unidades deseadas, km/h. (2) Compruebe que las unidades de la respuesta final son las deseadas. El problema pedía la velocidad media en km/h y, en efecto, hemos obtenido esas unidades. (3) Compruebe las cifras significativas. Como cada uno de los valores del problema tiene tres cifras significativas, la respuesta también debe tener tres cifras significativas. La respuesta 30,0 km/h tiene, en efecto, tres cifras significativas, así que es adecuada. Observe que las cifras significativas del factor de conversión no importan, porque una hora se define como 60 minutos, así que la precisión del factor de conversión es perfecta.

Preguntas

1. ¿Qué es un factor de conversión?
 - a. Una razón que expresa cuántas unidades de un tipo equivalen a otra unidad
 - b. Un número que hace más pequeña cualquier respuesta
 - c. La precisión de un instrumento de medida

- d. Una potencia de 10 unida a una unidad
2. ¿Cómo puede saber que un factor de conversión se escribió al revés?
- a. La respuesta sale negativa
 - b. Las unidades no se cancelan y el resultado tiene unidades erróneas
 - c. La respuesta tiene demasiadas cifras significativas
 - d. El número se hace más grande
3. ¿Por qué las cifras significativas del factor 60 min/h no limitan la respuesta 30,0 km/h?
- a. Porque 60 es un número redondo
 - b. Porque el factor se usa solo una vez
 - c. Porque una hora se define como 60 minutos, así que el factor es perfectamente preciso
 - d. Porque los minutos se cancelan
4. ¿Aproximadamente cuántos órdenes de magnitud separan el diámetro de un átomo de hidrógeno (10^{-10} m) del diámetro de la Tierra (10^7 m)?
- a. 3
 - b. 7
 - c. 10
 - d. 17

Respuestas

1. a) Un factor de conversión es una razón como 1000 metros en 1 kilómetro o 60 segundos en 1 minuto.

- 2. b)** Al revés, las unidades no se cancelan; obtiene $\text{km}\cdot\text{h}/\text{min}^2$, que claramente no es km/h .
- 3. c)** Una hora se define como exactamente 60 minutos, así que la precisión del factor de conversión es perfecta.
- 4. d)** De 10^{-10} a 10^7 hay 17 potencias de 10, lo que muestra el enorme abanico de longitudes de la tabla.

Ejemplos resueltos

Un trayecto corto a casa Recorre en coche los 10,0 km de su centro de estudios a casa en 20,0 min. ¿Cuál es su velocidad media en km/h ?

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

Sustituya: $10,0 \text{ km} \div 20,0 \text{ min} = 0,500 \text{ km}/\text{min}$.

Para pasar de minutos a horas, multiplique por el factor de conversión $60 \text{ min}/1 \text{ h}$, que cancela los minutos y deja las horas.

$0,500 \text{ km}/\text{min} \times 60 \text{ min}/\text{h} = 30,0 \text{ km}/\text{h}$, con tres cifras significativas, como los datos.

Respuesta: $30,0 \text{ km}/\text{h}$

Ejercicios

1. Apartado (b) del mismo ejemplo: exprese la velocidad media de $30,0 \text{ km}/\text{h}$ en metros por segundo.

Pista: Use 1000 m en 1 km y 3600 s en 1 h , para que se cancelen los km y las h .

Respuesta: $8,33 \text{ m}/\text{s}$: $30,0 \text{ km}/\text{h} \times 1000 \text{ m}/\text{km} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} = 30000/3600 \text{ m}/\text{s} \approx 8,33 \text{ m}/\text{s}$.

2. Convierta 2500 metros a kilómetros usando un factor de conversión.

Pista: Multiplique por $1 \text{ km}/1000 \text{ m}$ para que se cancelen los metros.

Respuesta: 2,5 km: $2500 \text{ m} \times 1 \text{ km}/1000 \text{ m} = 2,5 \text{ km}$.

3. Un paseo mide 15 840 pies. ¿Cuántas millas son?

Pista: Hay 5280 pies en una milla; multiplique por $1 \text{ milla}/5280 \text{ pies}$.

Respuesta: 3 millas: $15\,840 \div 5280 = 3$.

Terminando el trayecto a casa

(4) Después, compruebe si la respuesta es razonable. Consideremos algunos datos del problema: si recorre 10 km en un tercio de hora (20 min), en una hora recorrería el triple. La respuesta parece razonable.

$$30.0 \text{ km/h}$$

$$10 \text{ km en } \frac{1}{3} \text{ h} \Rightarrow 30 \text{ km en } 1 \text{ h}$$

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

$$0.500 \text{ km/min} \Rightarrow 8.33 \text{ m/s}$$

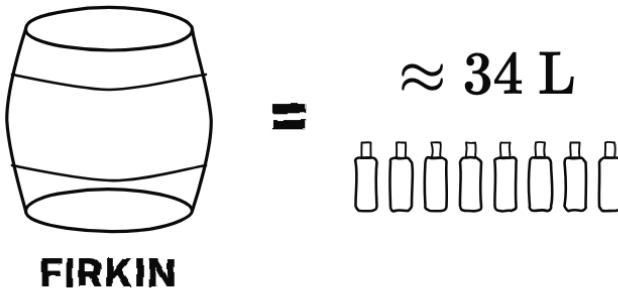
De km/h a m/s

Solución de (b). Hay varias maneras de convertir la velocidad media a metros por segundo. (1) Empiece con la respuesta de (a) y convierta km/h en m/s. Hacen falta dos factores de conversión: uno para convertir horas en segundos y otro para convertir kilómetros en

metros. (2) Multiplicar por ellos da velocidad media = $30,0 \text{ km/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 1000 \text{ m}/1 \text{ km}$, así que velocidad media = $8,33 \text{ m/s}$.

Discusión de (b). Si hubiéramos empezado con $0,500 \text{ km/min}$, habríamos necesitado otros factores de conversión, pero la respuesta habría sido la misma: $8,33 \text{ m/s}$.

Quizá haya notado que las respuestas del ejemplo que acabamos de ver se dieron con tres cifras. ¿Por qué? ¿Cuándo debe preocuparse por el número de cifras de algo que calcula? ¿Por qué no anotar todas las cifras que da la calculadora? El módulo Exactitud, precisión y cifras significativas le ayudará a responder estas preguntas.

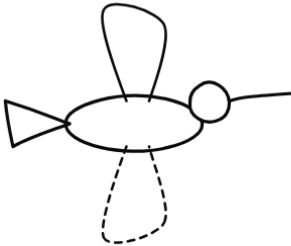


¿GRANO CEBADA?

Un firkin de cerveza

Unidades no normalizadas. Aunque hay muchos tipos de unidades que todos conocemos, hay otras mucho más desconocidas. Por ejemplo, el firkin es una unidad de volumen que se usó para medir cerveza. Un firkin equivale a unos 34 litros. Para saber más sobre unidades no normalizadas, busque en un diccionario o una enciclopedia distintos «pesos y medidas». Tome nota de cualquier unidad poco común, como el grano de cebada, que no aparezca en el texto. Piense en cómo se define la unidad e indique su relación con las unidades del SI.

Compruebe lo que ha entendido. Algunos colibríes baten las alas más de 50 veces por segundo. Una científica mide el tiempo que tarda un colibrí en batir las alas una vez. ¿Qué unidad fundamental debe usar para describir la medición? ¿Qué factor de 10 es probable que use para describir el movimiento con precisión? Identifique el prefijo métrico que corresponde a ese factor de 10.



50 ALETEOS/S

$$\frac{1}{50} \text{ s} = 0.020 \text{ s}$$

$$= 20 \text{ ms}$$

$$1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$$

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

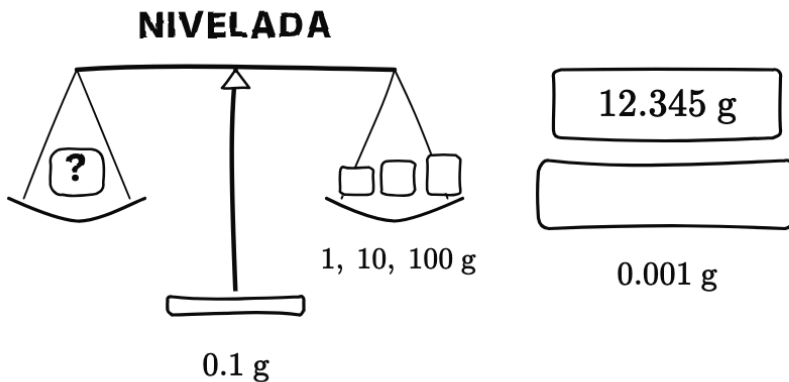
El aleteo de un colibrí

La científica medirá el tiempo entre cada movimiento con la unidad fundamental, el segundo. Como las alas baten tan deprisa, probablemente tendrá que medir en milisegundos, es decir, 10^{-3} segundos. (50 aleteos por segundo corresponden a 20 milisegundos por aleteo.)

Compruebe lo que ha entendido. Un centímetro cúbico es igual a un mililitro. ¿Qué le dice esto sobre las distintas unidades del sistema métrico SI?

La unidad fundamental de longitud (el metro) probablemente se usa para crear la unidad derivada de volumen (el litro). La medida de un mililitro depende de la medida de un centímetro.

Una balanza mecánica de dos platillos se usa para comparar masas distintas. Normalmente se coloca en un platillo un objeto de masa desconocida y en el otro objetos de masa conocida. Cuando la barra que une los dos platillos está horizontal, las masas de ambos platillos son iguales. Las «masas conocidas» suelen ser cilindros metálicos de masa estándar, como 1 gramo, 10 gramos y 100 gramos. Muchas balanzas mecánicas, como las de dos platillos, han sido sustituidas por básculas digitales, que normalmente miden la masa de un objeto con más precisión. Mientras que una balanza mecánica quizá solo lea la masa de un objeto hasta la décima de gramo, muchas básculas digitales pueden medirla hasta la milésima de gramo.



Preguntas

1. ¿Por qué 30,0 km/h parece una respuesta razonable para 10 km recorridos en 20 min?
 - a. Porque 20 minutos son un tercio de hora, así que en una hora recorrería el triple
 - b. Porque todos los coches van cerca de 30 km/h
 - c. Porque 10 más 20 son 30
 - d. Porque el factor de conversión es 60
2. ¿Por qué hacen falta dos factores de conversión para pasar de km/h a m/s?
 - a. Porque la velocidad tiene dos cifras significativas
 - b. Porque deben cambiar tanto la unidad de distancia como la de tiempo
 - c. Porque los metros y los segundos son unidades derivadas
 - d. Porque un factor siempre está al revés
3. ¿Por qué una científica describiría un aleteo de colibrí en milisegundos?
 - a. Porque el milisegundo es la unidad fundamental de tiempo
 - b. Porque los aleteos duran varios segundos
 - c. Porque las alas baten tan deprisa que cada aleteo dura solo milésimas de segundo
 - d. Porque los milisegundos son más precisos que cualquier otra unidad
4. ¿Qué significa que un centímetro cúbico sea igual a un mililitro?

- a. Que el volumen es una magnitud fundamental
- b. Que los litros y los metros no tienen relación
- c. Que los centímetros cúbicos son más grandes
- d. Que la unidad de volumen se deriva de la unidad de longitud

Respuestas

- 1. **a)** En un tercio de hora recorre 10 km, así que en una hora entera recorre el triple, 30 km.
- 2. **b)** Un factor convierte horas en segundos y el otro convierte kilómetros en metros.
- 3. **c)** A 50 aleteos por segundo, cada aleteo dura 20 milisegundos, así que encaja el prefijo mili, 10^{-3} .
- 4. **d)** El litro es una unidad derivada construida a partir del metro, así que un mililitro depende del centímetro.

Ejemplos resueltos

Convertir a m/s el trayecto a casa Convierta la velocidad media de 30,0 km/h a metros por segundo.

Hacen falta dos factores de conversión: uno para horas a segundos y otro para kilómetros a metros.

Multiplique: $30,0 \text{ km/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 1000 \text{ m}/1 \text{ km}$.

Las horas y los kilómetros se cancelan y quedan m/s.

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

Respuesta: 8,33 m/s

Ejercicios

1. Algunos colibríes baten las alas más de 50 veces por segundo.

¿Cuánto dura un aleteo, en milisegundos?

Pista: Un segundo repartido entre 50 aleteos; luego, 1 segundo son 1000 milisegundos.

Respuesta: 20 milisegundos: $1 \text{ s} \div 50 = 0,02 \text{ s}$, que son 20 ms.

2. Un firkin equivale a unos 34 litros. ¿Unos cuántos litros hay en 3 firkins?

Pista: Multiplique por el factor de conversión de 34 litros por firkin.

Respuesta: Unos 102 litros: $3 \text{ firkins} \times 34 \text{ L/firkin} = 102 \text{ L}$.

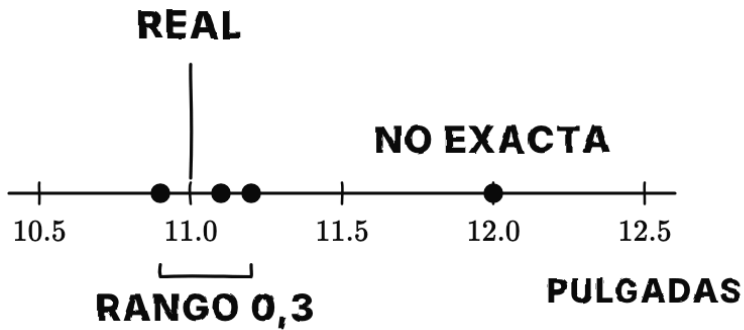
3. Convierta 72 km/h a metros por segundo.

Pista: Multiplique por $1 \text{ h}/3600 \text{ s}$ y por $1000 \text{ m}/1 \text{ km}$.

Respuesta: 20 m/s: $72 \times 1000 \div 3600 = 20$.

Exactitud, precisión e incertidumbre

La ciencia se basa en la observación y el experimento, es decir, en mediciones. La exactitud es lo cerca que está una medición del valor correcto de esa medida. Por ejemplo, supongamos que mide la longitud de un folio estándar de impresora. El paquete en que compró el papel indica que mide 11,0 pulgadas de largo. Mide la longitud del papel tres veces y obtiene estas mediciones: 11,1 pulgadas, 11,2 pulgadas y 10,9 pulgadas. Estas mediciones son bastante exactas porque están muy cerca del valor correcto de 11,0 pulgadas. En cambio, si hubiera obtenido una medición de 12 pulgadas, su medición no sería muy exacta.

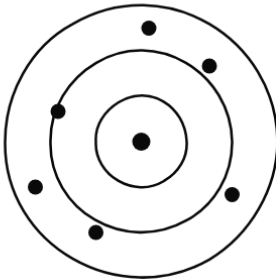


Exacto y preciso

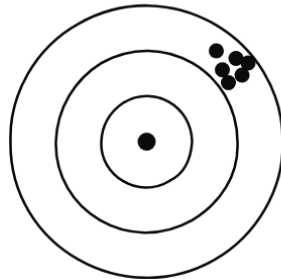
La precisión de un sistema de medida se refiere a lo cerca que concuerdan las mediciones repetidas (repetidas en las mismas condiciones). Considere el ejemplo de las mediciones del papel. La precisión de las mediciones se refiere a la dispersión de los valores medidos. Una forma de analizar la precisión de las mediciones sería determinar el rango, o diferencia, entre el valor medido más bajo y el más alto. En ese caso, el valor más bajo fue 10,9 pulgadas y el más alto 11,2 pulgadas. Así, los valores medidos se desviaron entre sí como mucho 0,3 pulgadas. Estas mediciones fueron relativamente precisas porque sus valores no variaron demasiado. Sin embargo, si los valores medidos hubieran sido 10,9, 11,1 y 11,9, las mediciones no serían muy precisas, porque habría una variación importante de una medición a otra.

Las mediciones del ejemplo del papel son exactas y precisas a la vez, pero en algunos casos las mediciones son exactas pero no precisas, o precisas pero no exactas. Consideremos el ejemplo de un sistema GPS que intenta localizar la posición de un restaurante en una ciudad. Imagine que el restaurante está en el centro de una diana, y que cada intento del GPS de localizarlo es un punto negro. En la primera figura puede ver que las mediciones del GPS están muy separadas entre sí, pero centradas cerca de la ubicación real del restaurante, en el centro de la diana. Esto indica un sistema de medida de baja precisión y alta exactitud. En la segunda figura, en cambio, las mediciones del GPS están bastante concentradas entre sí, pero lejos de la ubicación buscada. Esto indica un sistema de medida de alta precisión y baja exactitud.

● = RESTAURANTE

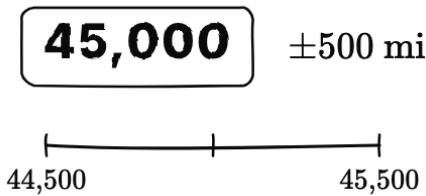


**EXACTO,
NO PRECISO**

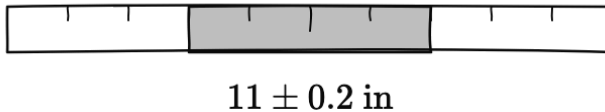


**PRECISO,
NO EXACTO**

El grado de exactitud y precisión de un sistema de medida está relacionado con la incertidumbre de las mediciones. La incertidumbre es una medida cuantitativa de cuánto se desvían los valores medidos de un valor patrón o esperado. Si sus mediciones no son muy exactas ni precisas, la incertidumbre de sus valores será muy alta. En términos más generales, la incertidumbre puede verse como una advertencia sobre sus valores medidos. Por ejemplo, si alguien le pregunta el kilometraje de su coche, podría decir que son 45 000 millas, más o menos 500 millas. Esa cantidad de más o menos es la incertidumbre de su valor. Es decir, indica que el kilometraje real de su coche podría ser tan bajo como 44 500 millas o tan alto como 45 500 millas, o cualquier valor intermedio. Todas las mediciones contienen algo de incertidumbre. En nuestro ejemplo de medir la longitud del papel, podríamos decir que el papel mide 11 pulgadas, más o menos 0,2 pulgadas. La incertidumbre de una medida A suele indicarse como δA , así que el resultado se anotaría como $A \pm \delta A$. En nuestro ejemplo del papel, la longitud podría expresarse como $11 \text{ pulgadas} \pm 0,2$.



$$A \pm \delta A$$

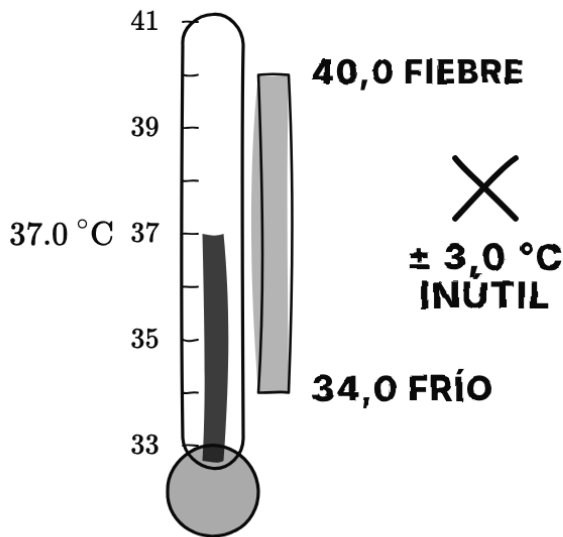


$$A \pm \delta A$$

Entre los factores que contribuyen a la incertidumbre de una medición están: primero, las limitaciones del instrumento de medida; segundo, la habilidad de quien mide; tercero, las irregularidades del objeto medido; y cuarto, cualquier otro factor que afecte al resultado (muy dependiente de la situación). En nuestro ejemplo, esos factores podrían ser los siguientes: la división más pequeña de la regla es 0,1 pulgadas, la persona que usa la regla ve mal, o un lado del papel es algo más largo que el otro. En cualquier caso, la incertidumbre de una medición debe basarse en un examen cuidadoso de todos los factores que puedan contribuir y de sus posibles efectos.

Conexiones: ¿fiebre o escalofríos? La incertidumbre es una información crucial, tanto en física como en muchas otras

aplicaciones del mundo real. Imagine que cuida de un niño enfermo. Sospecha que tiene fiebre, así que le toma la temperatura con un termómetro. ¿Y si la incertidumbre del termómetro fuera de $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$? Si el termómetro marcara $37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (la temperatura corporal normal), la temperatura «real» podría estar en cualquier punto entre una hipotermia de $34,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una fiebre peligrosamente alta de $40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Un termómetro con una incertidumbre de $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sería inútil.



Un termómetro inútil

Preguntas

1. Las localizaciones GPS de un restaurante están muy dispersas pero centradas en el restaurante. ¿Cómo describiría este sistema?
 - a. Alta precisión, baja exactitud
 - b. Baja precisión, alta exactitud
 - c. Alta precisión, alta exactitud
 - d. Baja precisión, baja exactitud
2. Tres mediciones de un folio dan 10,9, 11,1 y 11,9 pulgadas. ¿Por qué no son muy precisas?
 - a. Porque varían de forma importante de una medición a otra
 - b. Porque ninguna es igual a 11,0 pulgadas
 - c. Porque se hicieron con una regla
 - d. Porque solo son tres
3. ¿Qué le dice anotar el kilometraje de un coche como 45 000 millas más o menos 500 millas?
 - a. Que el coche ha recorrido exactamente 45 500 millas
 - b. Que el cuentakilómetros está roto
 - c. Que el kilometraje real está en cualquier punto entre 44 500 y 45 500 millas
 - d. Que el coche recorre 500 millas al año
4. ¿Por qué un termómetro con una incertidumbre de 3,0 °C sería inútil para comprobar la fiebre?
 - a. Porque mide en grados Celsius
 - b. Porque siempre marcaría 37,0 °C
 - c. Porque la temperatura corporal nunca cambia

- d. Porque una lectura de $37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ podría significar cualquier cosa entre $34,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Respuestas

1. **b)** Los puntos dispersos indican baja precisión; que estén centrados en el objetivo indica alta exactitud.
2. **a)** La precisión es la dispersión de los valores repetidos; un rango de 1,0 pulgada es una variación importante.
3. **c)** La cantidad de más o menos es la incertidumbre, así que el valor real puede estar en cualquier punto de ese intervalo.
4. **d)** La temperatura real podría ir de la hipotermia a una fiebre peligrosa, así que la lectura no dice nada útil.

Ejemplos resueltos

Rango de las mediciones del papel Las tres longitudes medidas del papel son 11,1, 11,2 y 10,9 pulgadas. ¿Cuál es el rango y qué dice sobre la precisión?

La precisión puede juzgarse por el rango: la diferencia entre el valor más alto y el más bajo.

El valor más alto es 11,2 pulgadas y el más bajo 10,9 pulgadas.

$$11,2 - 10,9 = 0,3 \text{ pulgadas.}$$

Los valores se desvían entre sí como mucho 0,3 pulgadas, así que son relativamente precisos.

Respuesta: 0,3 pulgadas; las mediciones son relativamente precisas

Ejercicios

1. Una longitud se anota como 11 pulgadas $\pm 0,2$ pulgadas. ¿Cuáles son el menor y el mayor valor que podría tener la longitud real?

Pista: Reste y sume la incertidumbre.

Respuesta: De 10,8 a 11,2 pulgadas: $11 - 0,2$ y $11 + 0,2$.

2. Nombre los cuatro factores que según el texto contribuyen a la incertidumbre y dé un ejemplo de cada uno al medir el papel.

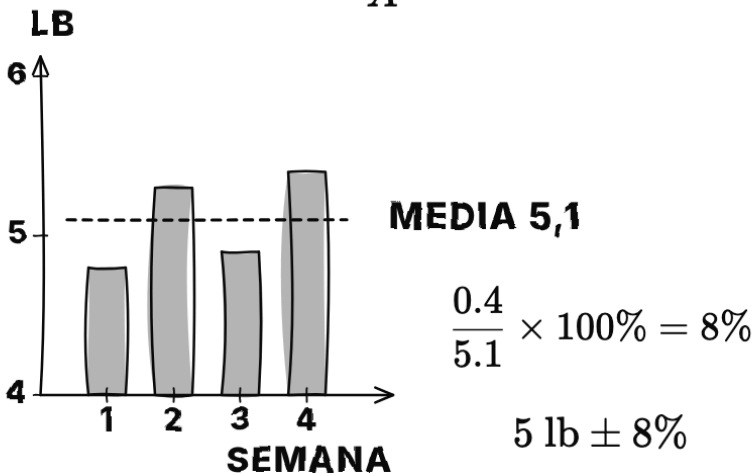
Pista: Piense en la regla, la persona, el papel y cualquier otra cosa.

Respuesta: Las limitaciones del instrumento (la división más pequeña de la regla es 0,1 pulgadas), la habilidad de la persona (mala vista), las irregularidades del objeto (un lado del papel algo más largo) y otros factores que dependen de la situación.

Incertidumbre porcentual y cifras significativas

Una forma de expresar la incertidumbre es como porcentaje del valor medido. Si una medida A se expresa con una incertidumbre δA , la incertidumbre porcentual (%inc) se define como $\% \text{inc} = \delta A / A \times 100\%$.

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



Incertidumbre porcentual de una bolsa de manzanas

Ejemplo: cálculo de la incertidumbre porcentual, una bolsa de manzanas. Una tienda vende bolsas de manzanas de 5 libras. Compra cuatro bolsas a lo largo de un mes y pesa las manzanas cada vez.

Obtiene estas mediciones: peso de la semana 1, 4,8 lb; semana 2, 5,3 lb; semana 3, 4,9 lb; semana 4, 5,4 lb. Ya ha determinado antes, con mediciones adicionales, que la incertidumbre del peso medio de la bolsa de 5 lb es de $\pm 0,4$ lb. ¿Cuáles son el peso medio y la incertidumbre porcentual del peso de la bolsa, dadas estas 4 mediciones?

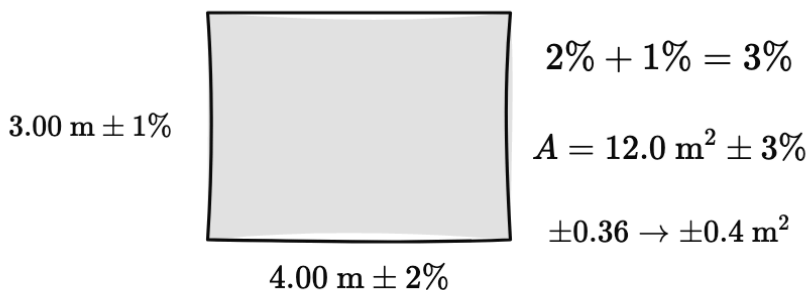
Estrategia. La media de los cuatro pesos medidos es 5,1 lb. Observe que la media medida concuerda con el peso nominal de 5 lb dentro de la incertidumbre de 0,4 lb. La incertidumbre de este valor, δA , es 0,4 lb. Podemos usar la siguiente ecuación para hallar la incertidumbre porcentual del peso: $\%inc = \delta A/A \times 100 \%$.

Solución. Sustituya los valores conocidos en la ecuación: $\%inc = 0,4 \text{ lb}/5,1 \text{ lb} \times 100 \% = 8 \%$.

Discusión. Podemos concluir que el peso de la bolsa de manzanas es $5 \text{ lb} \pm 8 \%$. Piense en cómo cambiaría esta incertidumbre porcentual si la bolsa de manzanas pesara la mitad pero la incertidumbre del peso fuera la misma. Consejo para cálculos futuros: al calcular la incertidumbre porcentual, recuerde siempre que debe multiplicar la fracción por 100 %. Si no lo hace, tendrá una cantidad decimal, no un valor porcentual.

Todo lo que se calcula a partir de magnitudes medidas tiene incertidumbre. Por ejemplo, el área de un suelo calculada a partir de medidas de su largo y su ancho tiene incertidumbre porque el largo y el ancho la tienen. ¿Cuán grande es la incertidumbre de algo que se calcula multiplicando o dividiendo? Si las mediciones que entran en el cálculo tienen incertidumbres pequeñas (unos pocos por ciento o menos), puede usarse para la multiplicación o la división el método de sumar porcentajes. Este método dice que la incertidumbre porcentual

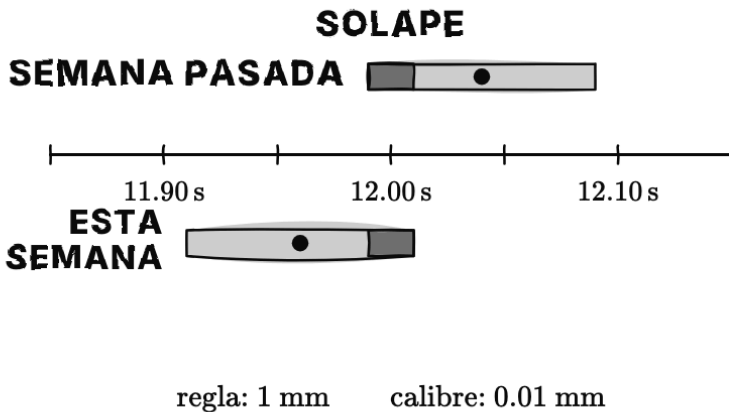
de una magnitud calculada por multiplicación o división es la suma de las incertidumbres porcentuales de los elementos usados en el cálculo. Por ejemplo, si un suelo mide 4,00 m de largo y 3,00 m de ancho, con incertidumbres del 2 % y del 1 % respectivamente, su área es 12,0 m² y tiene una incertidumbre del 3 %. (Expresada como área, son 0,36 m², que redondeamos a 0,4 m² porque el área del suelo se da hasta la décima de metro cuadrado.)



Sumar porcentajes para un suelo

Compruebe lo que ha entendido. Un entrenador de atletismo de un instituto acaba de comprar un cronómetro nuevo. El manual del cronómetro indica que tiene una incertidumbre de $\pm 0,05 \text{ s}$. El mejor velocista del equipo hizo los 100 metros en 12,04 segundos la semana

pasada y en 11,96 segundos esta semana. ¿Podemos concluir que esta semana fue más rápido?



¿Más rápido o no?

No, la incertidumbre del cronómetro es demasiado grande para distinguir de verdad entre los tiempos.

Un factor importante de la exactitud y la precisión de las mediciones es la precisión del instrumento de medida. En general, un instrumento de medida preciso es el que puede medir valores en incrementos muy pequeños. Por ejemplo, una regla estándar puede medir longitudes hasta el milímetro, mientras que un calibre puede medirlas hasta 0,01 milímetros. El calibre es un instrumento más preciso porque puede medir diferencias de longitud extremadamente

pequeñas. Cuanto más preciso es el instrumento, más precisas y exactas pueden ser las mediciones.

Al expresar valores medidos, solo podemos anotar tantas cifras como medimos inicialmente con nuestro instrumento. Por ejemplo, si usa una regla estándar para medir la longitud de un palo, puede obtener 36,7 cm. No podría expresar este valor como 36,71 cm, porque su instrumento no era lo bastante preciso para medir una centésima de centímetro. Hay que señalar que la última cifra de un valor medido la ha estimado de algún modo la persona que mide. Por ejemplo, la persona que mide un palo con una regla observa que su longitud parece estar entre 36,6 cm y 36,7 cm, y debe estimar el valor de la última cifra. Según el método de las cifras significativas, la regla es que la última cifra anotada en una medición es la primera cifra con algo de incertidumbre. Para determinar el número de cifras significativas de un valor, empiece por la primera cifra medida a la izquierda y cuente las cifras hasta la última anotada a la derecha. Por ejemplo, el valor medido 36,7 cm tiene tres cifras, o cifras significativas. Las cifras significativas indican la precisión del instrumento de medida con que se midió un valor.

Preguntas

1. Si una bolsa de manzanas pesara la mitad pero su incertidumbre siguiera siendo 0,4 lb, ¿qué le pasaría a la incertidumbre porcentual?
 - a. Seguiría igual
 - b. Se reduciría a la mitad

- c. Más o menos se duplicaría
 - d. Se haría cero
2. El largo de un suelo tiene un 2 % de incertidumbre y el ancho un 1 %. ¿Cuál es la incertidumbre porcentual de su área?
- a. 3 %
 - b. 2 %
 - c. 1 %
 - d. 1,5 %
3. ¿Por qué el entrenador no puede concluir que 11,96 s fue más rápido que 12,04 s?
- a. Porque el velocista corrió una distancia distinta
 - b. Porque los tiempos se tomaron en semanas distintas
 - c. Porque el cronómetro redondea a segundos enteros
 - d. Porque la incertidumbre del cronómetro es demasiado grande para distinguir los tiempos
4. ¿Por qué no podría anotarse como 36,71 cm un palo medido con una regla estándar?
- a. Porque la regla no puede medir hasta la centésima de centímetro
 - b. Porque los palos nunca son tan largos
 - c. Porque 36,71 tiene muy pocas cifras
 - d. Porque la última cifra debe ser cero

Respuestas

1. **c)** La incertidumbre porcentual es $\delta A/A \times 100 \%$; reducir A a la mitad con el mismo δA duplica la fracción.

2. a) Para la multiplicación con incertidumbres pequeñas, las incertidumbres porcentuales se suman: $2\% + 1\% = 3\%$.

3. d) Con $\pm 0,05$ s en cada lectura, los dos tiempos se solapan, así que el cronómetro no puede distinguirlos.

4. a) Solo pueden anotarse tantas cifras como midió el instrumento; una regla no es lo bastante precisa para centésimas de centímetro.

Ejemplos resueltos

Una bolsa de manzanas Cuatro bolsas de manzanas de 5 lb pesan 4,8 lb, 5,3 lb, 4,9 lb y 5,4 lb. La incertidumbre del peso medio es $\pm 0,4$ 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 4: la media es 5,1 lb, que concuerda con las 5 lb nominales dentro de 0,4 lb.

Use $\%inc = \delta A / A \times 100\%$ con $\delta A = 0,4$ lb y $A = 5,1$ lb.

$0,4 \div 5,1 \times 100\% \approx 8\%$.

Respuesta: 5,1 lb, con una incertidumbre porcentual de un 8 % aproximadamente

Ejercicios

1. Un suelo mide 4,00 m de largo y 3,00 m de ancho, con incertidumbres del 2 % y del 1 %. Halle el área y su incertidumbre en metros cuadrados.

Pista: Multiplique el largo por el ancho y luego sume las incertidumbres porcentuales.

Respuesta: $12,0 \text{ m}^2 \pm 0,4 \text{ m}^2$: el área es $12,0 \text{ m}^2$, la incertidumbre es del 3 %, y el 3 % de $12,0 \text{ m}^2$ son $0,36 \text{ m}^2$, redondeados a $0,4 \text{ m}^2$.

2. Una bolsa de manzanas pesa 2,55 lb con una incertidumbre de 0,4 lb. ¿Cuál es su incertidumbre porcentual?

Pista: Divida la incertidumbre entre el valor y multiplique por 100 %.

Respuesta: Alrededor del 16 %: $0,4 \div 2,55 \times 100 \% \approx 15,7 \%$, más o menos el doble del 8 % de la bolsa de 5,1 lb.

3. ¿Cuántas cifras significativas tiene cada valor: 36,7 cm, 11,96 s, 4,00 m?

Pista: Cuente desde la primera cifra medida a la izquierda hasta la última anotada.

Respuesta: Tres, cuatro y tres: 36,7 tiene tres, 11,96 tiene cuatro, y 4,00 tiene tres porque los ceros anotados se midieron.

Los ceros y las cifras significativas en los cálculos

Al contar cifras significativas, los ceros reciben una consideración especial. Los ceros de 0,053 no son significativos, porque solo ocupan lugares para situar la coma decimal. Hay dos cifras significativas en 0,053. Los ceros de 10,053 no solo ocupan lugares, sino que son significativos: este número tiene cinco cifras significativas. Los ceros de 1300 pueden ser significativos o no, según el estilo con que se escriban los números. Podrían indicar que el número se conoce hasta la última cifra, o podrían solo ocupar lugares. Así que 1300 podría tener dos, tres o cuatro cifras significativas. (Para evitar esta ambigüedad, escriba 1300 en notación científica.) Los ceros son significativos excepto cuando solo sirven para ocupar lugares.

	CIFRAS SIG.
0.0009	1
15,450.0	6
6×10^3	1
87.990	5
30.42	4

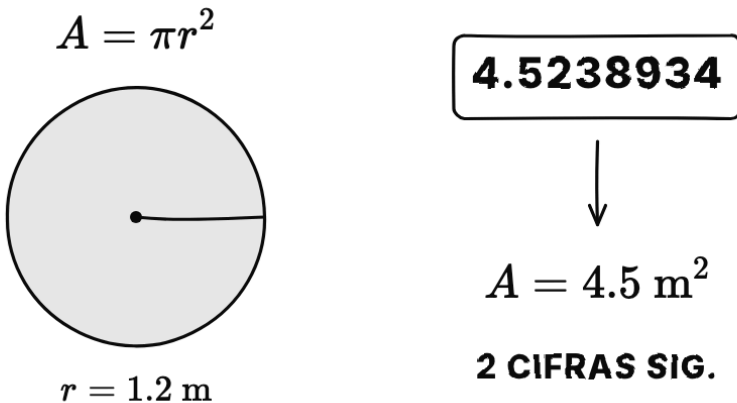
Qué ceros cuentan

Compruebe lo que ha entendido. Determine el número de cifras significativas de las siguientes mediciones: (1) 0,0009; (2) 15 450,0; (3) 6×10^3 ; (4) 87,990; (5) 30,42.

(a) 1; los ceros de este número ocupan lugares e indican la coma decimal. (b) 6; aquí los ceros indican que se midió hasta la décima, así que son significativos. (c) 1; el valor 10^3 indica la posición decimal, no el número de cifras medidas. (d) 5; el cero final indica que se midió hasta la milésima, así que es significativo. (e) 4; los ceros situados entre cifras significativas de un número también son significativos.

Al combinar mediciones con distintos grados de exactitud y precisión, el número de cifras significativas de la respuesta final no puede ser

mayor que el del valor medido menos preciso. Hay dos reglas distintas, una para la multiplicación y la división y otra para la suma y la resta, como se explica a continuación.



Redondear el área de un círculo

1. Para la multiplicación y la división: el resultado debe tener el mismo número de cifras significativas que la magnitud con menos cifras significativas que entra en el cálculo. Por ejemplo, el área de un círculo puede calcularse a partir de su radio con $A = \pi r^2$. Veamos cuántas cifras significativas tiene el área si el radio solo tiene dos, por ejemplo $r = 1,2 \text{ m}$. Entonces $A = \pi r^2 = (3,1415927...) \times (1,2 \text{ m})^2 = 4,5238934 \text{ m}^2$, que es lo que obtendría con una calculadora que muestra ocho cifras. Pero como el radio solo tiene dos cifras

significativas, limita la magnitud calculada a dos cifras significativas, $A = 4,5 \text{ m}^2$, aunque π se conozca con al menos ocho cifras.

2. Para la suma y la resta: la respuesta no puede tener más decimales que la medición menos precisa. Supongamos que compra en una tienda 7,56 kg de patatas, pesadas en una báscula con precisión de 0,01 kg. Luego deja 6,052 kg de patatas en su laboratorio, pesadas en una báscula con precisión de 0,001 kg. Por último, se va a casa y añade 13,7 kg de patatas pesadas en una báscula de baño con precisión de 0,1 kg. ¿Cuántos kilogramos de patatas tiene ahora y cuántas cifras significativas son adecuadas en la respuesta? La masa se halla con una simple suma y resta: $7,56 \text{ kg} - 6,052 \text{ kg} + 13,7 \text{ kg} = 15,208 \text{ kg}$, que se redondea a 15,2 kg. Después identificamos la medición menos precisa: 13,7 kg. Esta medición se expresa hasta la décima, así que la respuesta final también debe expresarse hasta la décima. Así, la respuesta se redondea a las décimas, y obtenemos 15,2 kg.

PATATAS, KG

$$\begin{array}{r} 7.56 \\ - 6.052 \\ + 13.7 \\ \hline 15.208 \end{array} \quad \begin{array}{l} 0.01 \text{ kg} \\ 0.001 \text{ kg} \\ 0.1 \text{ kg} \end{array}$$

$\rightarrow 15.2 \text{ kg}$

Sumar patatas

En este texto se supone que la mayoría de los números tienen tres cifras significativas. Además, en todos los ejemplos resueltos se usan números de cifras significativas coherentes. Notará, por ejemplo, que una respuesta dada con tres cifras se basa en datos válidos hasta al menos tres cifras. Si los datos tienen menos cifras significativas, la respuesta también tendrá menos. También se procura que el número de cifras significativas sea razonable para la situación planteada. En algunos temas, sobre todo en óptica, hacen falta números más exactos y se usarán más de tres cifras significativas. Por último, si un número es exacto, como el dos de la fórmula de la longitud de la circunferencia, $c = 2\pi r$, no afecta al número de cifras significativas de un cálculo.

Compruebe lo que ha entendido. Haga los siguientes cálculos y exprese la respuesta con el número correcto de cifras significativas.

(a) Una mujer tiene tres bolsas: dos pesan 13,5 libras cada una y una pesa 10,2 libras. ¿Cuál es el peso total de las bolsas? (b) La fuerza F sobre un objeto es igual a su masa m multiplicada por su aceleración a . Si un carro de 55 kg de masa acelera a razón de $0,0255 \text{ m/s}^2$, ¿cuál es la fuerza sobre el carro? (La unidad de fuerza se llama newton y se expresa con el símbolo N.)

(a) 37,2 libras; como el número de bolsas es un valor exacto, no se tiene en cuenta en las cifras significativas. (b) 1,4 N; como el valor 55 kg solo tiene dos cifras significativas, el valor final también debe tener dos cifras significativas.

Preguntas

1. ¿Por qué los ceros de 0,053 no son significativos?
 - a. Porque solo ocupan lugares para situar la coma decimal
 - b. Porque los ceros nunca son significativos
 - c. Porque el número es menor que uno
 - d. Porque van después de la coma decimal
2. El radio de un círculo es 1,2 m. ¿Por qué su área se da como 4,5 m^2 y no como 4,5238934 m^2 ?
 - a. Porque π solo se conoce con dos cifras
 - b. Porque las calculadoras redondean automáticamente
 - c. Porque el radio solo tiene dos cifras significativas, lo que limita el resultado

- d. Porque las áreas siempre se redondean a un decimal
3. Al sumar 7,56 kg, restar 6,052 kg y sumar 13,7 kg, ¿por qué la respuesta es 15,2 kg?
- a. Porque 6,052 kg tiene más decimales
 - b. Porque la respuesta no puede tener más decimales que la medición menos precisa, 13,7 kg
 - c. Porque todas las básculas redondean a la décima
 - d. Porque las patatas se pesaron tres veces
4. ¿Por qué el dos de $c = 2\pi r$ no afecta al número de cifras significativas?
- a. Porque es un número pequeño
 - b. Porque es par
 - c. Porque multiplica a π
 - d. Porque es un número exacto

Respuestas

1. **a)** En 0,053 los ceros solo sitúan la coma decimal, así que el número tiene dos cifras significativas.
2. **c)** En la multiplicación, el resultado tiene tantas cifras significativas como la magnitud menos precisa; el radio tiene dos.
3. **b)** En la suma y la resta, la respuesta conserva solo tantos decimales como el valor menos preciso.
4. **d)** Los números exactos, como el dos de la fórmula de la circunferencia, no limitan las cifras significativas.

Ejemplos resueltos

Área de un círculo Un círculo tiene un radio $r = 1,2$ m. Halle su área $A = \pi r^2$ con el número correcto de cifras significativas.

Una calculadora da $(3,1415927...) \times (1,2 \text{ m})^2 = 4,5238934 \text{ m}^2$.

En la multiplicación, el resultado tiene tantas cifras significativas como el dato menos preciso.

El radio, $1,2$ m, tiene dos cifras significativas; π se conoce con muchas más.

Así que el área se redondea a dos cifras significativas.

Respuesta: $4,5 \text{ m}^2$

Ejercicios

1. Una mujer tiene tres bolsas: dos pesan $13,5$ libras cada una y una pesa $10,2$ libras. ¿Cuál es el peso total, con las cifras significativas correctas?

Pista: El número de bolsas es exacto; sume los pesos y conserve los decimales de los valores medidos.

Respuesta: $37,2$ libras: $2 \times 13,5 + 10,2 = 37,2$; el recuento de dos bolsas es exacto y no limita la respuesta.

2. Un carro de 55 kg de masa acelera a $0,0255 \text{ m/s}^2$. Usando $F = ma$, ¿cuál es la fuerza, con las cifras significativas correctas?

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

Respuesta: $1,4 \text{ N}$: $55 \times 0,0255 = 1,4025$, y 55 kg solo tiene dos cifras significativas.

3. ¿Cuántas cifras significativas hay en $0,0009$, $15\,450,0$ y $30,42$?

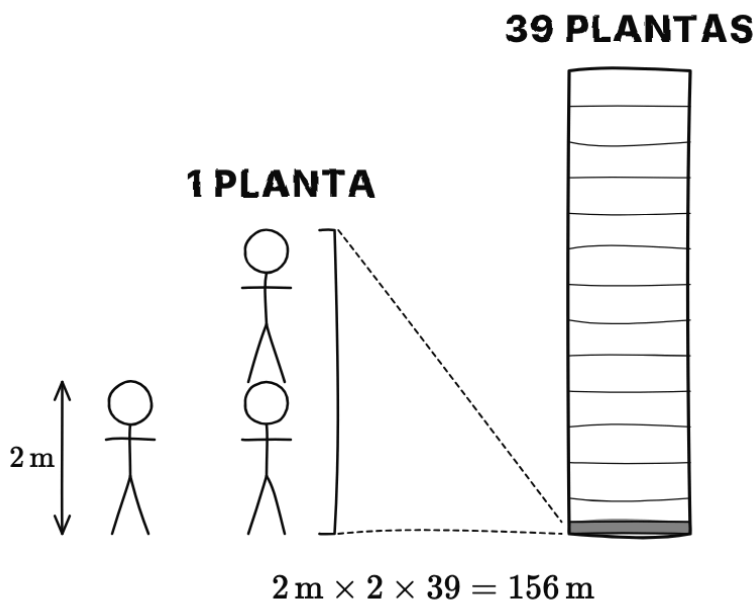
Pista: Los ceros que solo sitúan la coma decimal no cuentan; los ceros entre cifras o medidos al final sí.

Respuesta: 1, 6 y 4: los ceros de 0,0009 ocupan lugares, los ceros de 15 450,0 indican medición hasta la décima, y el cero de 30,42 está entre cifras significativas.

Aproximación

En muchas ocasiones, los físicos, otros científicos y los ingenieros necesitan hacer aproximaciones o «estimaciones a ojo» de una magnitud concreta. ¿A qué distancia está cierto destino? ¿Cuál es la densidad aproximada de un objeto dado? ¿Más o menos qué corriente habrá en un circuito? Muchos números aproximados se basan en fórmulas cuyos datos de entrada solo se conocen con una exactitud limitada. A medida que desarrolle habilidades para resolver problemas (que, estudiando física, pueden aplicarse en campos muy variados), también desarrollará habilidad para aproximar. Desarrollará estas habilidades pensando de forma más cuantitativa y estando dispuesto a arriesgarse. Como en cualquier empresa, ayudan la experiencia y la familiaridad con las unidades. Estas aproximaciones nos permiten descartar ciertas situaciones o números poco realistas. Las aproximaciones también nos permiten cuestionar a otros y guían nuestra forma de abordar el mundo científico. Veamos dos ejemplos para ilustrar este concepto.

Ejemplo: aproximar la altura de un edificio. ¿Puede aproximar la altura de uno de los edificios de su campus o de su barrio? Hagamos una aproximación basada en la estatura de una persona. En este ejemplo calcularemos la altura de un edificio de 39 plantas.



Un edificio de 39 plantas en personas

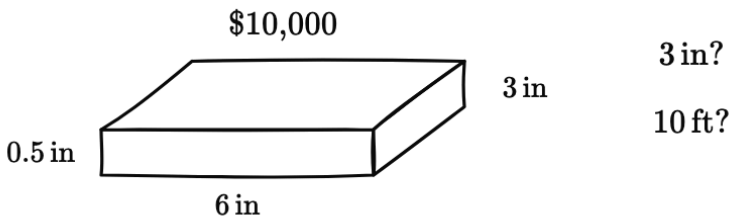
Estrategia. Piense en la estatura media de un hombre adulto. Podemos aproximar la altura del edificio escalando a partir de la estatura de una persona.

Solución. Por los datos del ejemplo, sabemos que el edificio tiene 39 plantas. Si usamos el hecho de que la altura de una planta es aproximadamente igual a la longitud de dos personas adultas (cada una mide unos 2 m), podemos estimar la altura total del edificio en $2\text{ m}/1\text{ persona} \times 2\text{ personas}/1\text{ planta} \times 39\text{ plantas} = 156\text{ m}$.

Discusión. Puede usar cantidades conocidas para determinar una medida aproximada de cantidades desconocidas. Si su mano mide 10

cm de ancho, ¿cuántas manos equivalen al ancho de su escritorio?
¿Qué otras medidas, además de la longitud, puede aproximar?

Ejemplo: aproximar números enormes, un billón de dólares. Un fajo bancario contiene cien billetes de 100 dólares y vale 10 000 dólares. La deuda federal de Estados Unidos en 2021 era algo más de 28 billones de dólares. La mayoría no tenemos ni idea de cuánto es en realidad siquiera un billón. Supongamos que le dieran un billón de dólares en billetes de 100 dólares. Si hiciera fajos de 100 billetes y los usara para cubrir de forma uniforme un campo de fútbol americano (entre las zonas de anotación), haga una aproximación de qué altura alcanzaría el montón de dinero. (Aquí usaremos pies y pulgadas en lugar de metros porque los campos de fútbol americano se miden en yardas.) Uno de sus amigos dice que 3 pulgadas, y otro que 10 pies. ¿Qué opina usted?



$$6 \times 3 \times 0.5 = 9 \text{ in}^3$$

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

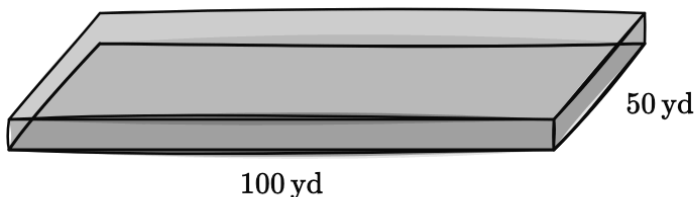
Un billón de dólares en fajos

Estrategia. Al imaginar la situación, probablemente vea miles de pequeños fajos de 100 billetes de 100 dólares atados, como en las películas o en un banco. Como es una cantidad fácil de aproximar, empecemos por ahí. Podemos hallar el volumen de un fajo de 100 billetes, averiguar cuántos fajos forman un billón de dólares y luego igualar ese volumen al área del campo multiplicada por la altura desconocida.

Solución. (1) Calcule el volumen de un fajo de 100 billetes. Las dimensiones de un billete son aproximadamente 3 por 6 pulgadas. Un fajo de 100 billetes tiene un grosor de unas 0,5 pulgadas. Así que el volumen total de un fajo de 100 billetes es: el volumen del fajo es igual al largo por el ancho por el alto, 6 pulg. $\times$ 3 pulg. $\times$ 0,5 pulg. = 9

pulg.³. (2) Calcule el número de fajos. Observe que un billón de dólares equivale a 1×10^{12} dólares, y un fajo de cien billetes de 100 dólares equivale a 10 000 dólares, o 1×10^4 dólares. El número de fajos que tendrá es 1×10^{12} dólares / 1×10^4 dólares por fajo = 1×10^8 fajos. (3) Calcule el área de un campo de fútbol americano en pulgadas cuadradas. El área de un campo de fútbol americano es de 100 yd por 50 yd, lo que da 5000 yd². Como trabajamos en pulgadas, hay que convertir las yardas cuadradas en pulgadas cuadradas: área = $5000 \text{ yd}^2 \times 3 \text{ pies}/1 \text{ yd} \times 3 \text{ pies}/1 \text{ yd} \times 12 \text{ pulg.}/1 \text{ pie} \times 12 \text{ pulg.}/1 \text{ pie} = 6\,480\,000 \text{ pulg.}^2$, así que el área es aproximadamente $6 \times 10^6 \text{ pulg.}^2$. Esta conversión nos da $6 \times 10^6 \text{ pulg.}^2$ para el área del campo. (Observe que en estos cálculos usamos una sola cifra significativa.) (4) Calcule el volumen total de los billetes. El volumen de todos los fajos de billetes de 100 dólares es $9 \text{ pulg.}^3/\text{fajo} \times 10^8 \text{ fajos} = 9 \times 10^8 \text{ pulg.}^3$. (5) Calcule la altura. Para determinar la altura de los billetes, use la ecuación: el volumen de los billetes es igual al área del campo por la altura del dinero, así que la altura del dinero es igual al volumen de los billetes dividido entre el área del campo. Altura del dinero = $9 \times 10^8 \text{ pulg.}^3 / 6 \times 10^6 \text{ pulg.}^2 = 1,33 \times 10^2 \text{ pulg.} \approx 1 \times 10^2 \text{ pulg.} = 100 \text{ pulg.}$ La altura del dinero será de unas 100 pulgadas. Convertir este valor a pies da $100 \text{ pulg.} \times 1 \text{ pie}/12 \text{ pulg.} = 8,33 \text{ pies} \approx 8 \text{ pies}$.

$$V = 9 \times 10^8 \text{ in}^3$$

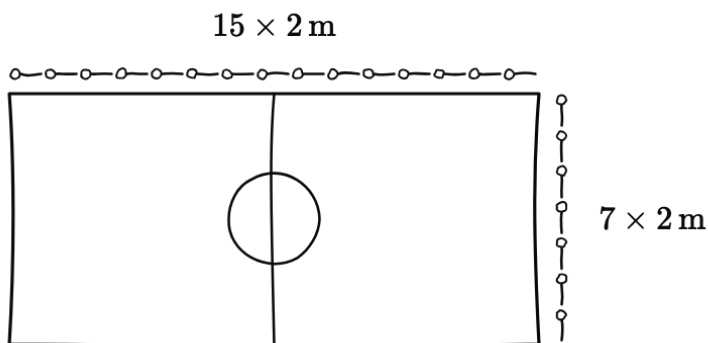


$$A \approx 6 \times 10^6 \text{ in}^2$$

$$h = \frac{9 \times 10^8}{6 \times 10^6} \approx 100 \text{ in} \quad \approx 8 \text{ ft}$$

A qué altura llega el dinero

Discusión. El valor aproximado final es mucho mayor que la primera estimación de 3 pulgadas, pero la otra estimación inicial de 10 pies (120 pulgadas) era más o menos correcta. ¿Cómo se compara la aproximación con su primera suposición? ¿Qué le enseña este ejercicio sobre las «estimaciones a ojo» frente a las aproximaciones calculadas con cuidado?



Una cancha de baloncesto en personas

Compruebe lo que ha entendido. Usando el cálculo mental y lo que sabe de las unidades fundamentales, aproxime el área de una cancha de baloncesto reglamentaria. Describa el proceso que usó para llegar a su aproximación final.

Un hombre medio mide unos dos metros. Harían falta aproximadamente 15 hombres tumbados uno tras otro para cubrir el largo, y unos 7 para cubrir el ancho. Eso da un área aproximada de 420 m^2 .

Preguntas

1. ¿Cuál es un uso de las aproximaciones que menciona el texto?
 - a. Dan valores exactos sin medir
 - b. Permiten descartar ciertas situaciones o números poco realistas
 - c. Sustituyen a las unidades
 - d. Solo sirven para problemas de dinero
2. En el ejemplo del edificio, ¿por qué se toma una planta como unos 4 m?
 - a. Porque una planta es más o menos la longitud de dos adultos, cada uno de unos 2 m
 - b. Porque las normas de construcción exigen 4 m
 - c. Porque 39 entre 10 es más o menos 4
 - d. Porque una planta equivale a la estatura de un adulto
3. ¿Cómo se halla la altura del montón de dinero una vez conocidos su volumen y el área del campo?
 - a. Multiplicando el volumen por el área
 - b. Sumándolos
 - c. Dividiendo el volumen de los billetes entre el área del campo
 - d. Dividiendo el área entre el volumen
4. ¿Qué suposición de los amigos fue más o menos correcta, y por qué importa el ejercicio?
 - a. La de 3 pulgadas, que muestra que las suposiciones suelen acertar
 - b. Ninguna, lo que muestra que aproximar no sirve
 - c. Las dos por igual

- d. La de 10 pies, que muestra que una aproximación cuidadosa permite poner a prueba las suposiciones a ojo

Respuestas

1. **b)** Las aproximaciones permiten descartar números poco realistas y cuestionar lo que afirman otros.
2. **a)** Una planta son unas dos personas adultas, de unos 2 m cada una, es decir, $2 \text{ m/persona} \times 2 \text{ personas/planta}$.
3. **c)** El volumen es igual al área por la altura, así que la altura es igual al volumen entre el área.
4. **d)** El montón mide unos 8 pies, muy por encima de 3 pulgadas; 10 pies era más o menos correcto, y el cálculo dice qué suposición se sostiene.

Ejemplos resueltos

Altura de un edificio de 39 plantas Estime la altura de un edificio de 39 plantas, tomando una planta como unos dos adultos de unos 2 m cada uno.

Una persona mide unos 2 m.

Una planta son unas 2 personas, así que $2 \text{ m} \times 2 = 4 \text{ m}$.

$39 \text{ plantas} \times 4 \text{ m por planta} = 156 \text{ m}$.

Respuesta: unos 156 m

Un billón de dólares sobre un campo de fútbol americano

Un billón de dólares en fajos de cien billetes de 100 dólares (cada fajo de $6 \times 3 \times 0,5$ pulgadas) cubre de forma uniforme un campo de 100×50 yardas. ¿Qué altura tiene más o menos el montón?

Cada fajo tiene un volumen de $6 \times 3 \times 0,5 = 9 \text{ pulg.}^3$.

Número de fajos: 10^{12} dólares $\div$ 10^4 dólares por fajo = 10^8 fajos, así que el volumen total es 9×10^8 pulg.³.

Área del campo: $5000 \text{ yd}^2 \times 9 \text{ pies}^2/\text{yd}^2 \times 144 \text{ pulg.}^2/\text{pie}^2 = 6\,480\,000 \text{ pulg.}^2$, unas 6×10^6 pulg.².

Altura = volumen $\div$ área = $9 \times 10^8 \div 6 \times 10^6 \approx 1 \times 10^2$ pulg., unas 100 pulgadas, es decir, unos 8 pies.

Respuesta: unas 100 pulgadas, más o menos 8 pies

Ejercicios

1. Con el mismo razonamiento que el libro, estime la altura de un edificio de 20 plantas.

Pista: Tome una planta como unos dos adultos de unos 2 m cada uno.

Respuesta: Unos 80 m: $20 \text{ plantas} \times 4 \text{ m por planta}$.

2. Aproxime el área de una cancha de baloncesto reglamentaria usando la estatura de un hombre medio, unos 2 m.

Pista: Cuente más o menos cuántos hombres tumbados uno tras otro cubren el largo y el ancho.

Respuesta: Unos 420 m^2 : unos 15 hombres (30 m) a lo largo y 7 hombres (14 m) a lo ancho, y $30 \text{ m} \times 14 \text{ m} = 420 \text{ m}^2$.