

Curso Introductorio

# ***Física***

Material para trabajo en clases

Profesorados en Física, Química y Biología

## La física: una ciencia natural y experimental

La física es una ciencia que estudia los fenómenos naturales y basa su conocimiento en el trabajo experimental. En el siguiente texto, extraído del libro “Física en Perspectiva” de Eugene Hecht, el autor nos ofrece su mirada sobre la física y su la forma de producir conocimiento científico:

Seamos honrados desde el principio. La Física no es especialmente fácil comprender, ni amar.

Pero, ¿qué es? O ¿quién es? Para la mayoría, es una visión nueva, una manera diferente de entendimiento, con escalas propias, ritmos y formas. Sin embargo, como ocurre con Macbeth, la Mona Lisa o Lucy en el cielo con diamantes, el viaje vale la pena. Con toda seguridad ya se han formado un juicio sobre este viaje.

La Física, seguramente la ciencia más completa, es una aventura creativa, maravillosa, poderosa, pero al mismo tiempo, elegante y sutil. ¿Qué sabe la ciencia y que no llega a saber nunca? ¿Cómo puede estar rodeada de misterio y al mismo tiempo estar libre de magia? ¿Qué es esta ciencia que impregna nuestras vidas? (...)

En Física, como en toda ciencia humana, las leyes suelen ser perecederas, los hechos son los resultados de la interpretación humana y la verdad, aún en el caso de ser alcanzable, puede ser irreconocible. Existen cuestiones muy sencillas en apariencia que siguen sin respuestas, sin que conozcamos sus verdades absolutas, como la naturaleza del cosmos.

Las ciencias naturales, a diferencias de las ciencias sociales, tienen como objetivo la naturaleza. Es decir, las propiedades Físicas del universo material, reveladas directa o indirectamente a través de la experiencia humana.

La Física es la ciencia natural que se ocupa de la materia y de la energía -toda la materia, toda la energía y sus posibles interacciones-. La Física trata de temas como son las fuerzas, los movimientos, los choques, la energía, la materia, el calor, las ondas, el sonido, la luz, la electricidad, el magnetismo, la relatividad, entre otras cosas.

Existe una variedad de disciplinas en las que está implicada la Física, por ejemplo, la Biofísica, la Geofísica, la Astrofísica, etc.

El objeto de la ciencia es entender el Universo, pero ¿qué significa eso? ¿Cómo conceptualiza la ciencia la estructura de los acontecimientos, las formas del orden, los ritmos secretos de un caos aparente?

Las creaciones intelectuales, como el arte, la literatura y la Física, consisten en transformar la estructura de los acontecimientos que observamos a nuestro alrededor, en un orden determinado. El proceso suele comenzar con observaciones, datos. Se observa un acontecimiento, de forma deliberada o por accidente, y se registran las

cosas, se miden, ¿cuánto? ¿Cuánto tiempo? ¿Cuántas? ¿Qué tamaño? Es decir, la Física cuantifica, asocia números con sus conceptos.

Dentro del cuerpo de las observaciones, se buscan patrones que revelen relaciones recurrentes entre los datos. Una ley empírica es una descripción de dicha estructura observada. Por ejemplo, si dos planetas se mueven en órbitas elípticas alrededor del sol –primera ley de Kepler- ésta resume incontables observaciones y revela la estructura total a la que se adapta exactamente cada dato numérico. Si nada cambia, podemos confiar en que la ley nos diga algo de lo que ocurrirá mañana. Por ejemplo: nos dirá dónde estará Marte.

La teoría es la justificación racional de la ley, la explicación de los fenómenos. La ley de Boyle relaciona la presión con el volumen de los gases, es un compendio de observaciones, una afirmación de un patrón fiable. Pero sólo será “inteligible” cuando teorizamos que los gases están formados por átomos y moléculas moviéndose dentro de una cámara.

Esta es la secuencia básica: datos, ley, teoría. Pero, la cosa no acaba ahí; una vez que estamos moderadamente satisfechos, la ciencia no cierra sus ojos a la naturaleza tentativa de su formalismo.

La experimentación es la observación controlada de un aspecto escogido del medio físico. Webster define el experimento como “un ensayo hecho para confirmar o refutar algo dudoso, una operación que se acomete para descubrir algún principio o efecto desconocido, o para comprobar alguna verdad sugerida”, basándose en observaciones previas y consideraciones teóricas.

La experimentación es en general un procedimiento dirigido que pretende no inmiscuirse en el fenómeno que se estudia. Con mucha frecuencia, el asunto es una combinación de accidentes, prueba y error, comprobación metódica deliberada.

El aspecto fundamental de la experimentación en Física es su carácter cuantitativo, su confianza en la medición, la asociación de valores numéricos con conceptos físicos.

No debe olvidarse el elemento humano. La experimentación moderna tiene la brillante apariencia del acero, la automatización infalible de la electrónica y la objetividad silenciosa y fría. Pero detrás de todo esto, está el investigador que dirige, selecciona, rechaza, refina, suprime e interpreta los mismos anteponiendo prejuicios, estados de ánimo, impresiones personales, juicios, ceguera o genio – interpretando y creando los hechos-.

El investigador debe decidir qué región será examinada y en qué medida, qué será excluido, qué aparatos utilizar, si se han tomado datos suficientes para no pasar por alto nada importante, qué observaciones son nuevas y qué corroboraciones de hechos anteriores, cuáles son hechos nuevos y, por supuesto, qué datos han de ser eliminados como falsos o irrelevantes.

Hay una distinción sutil en esto que tiende a ser pasada por alto a menudo, datos y hechos no son lo mismo. Construimos los hechos a partir de los datos, interpretando lo que vemos dentro del contexto de lo que creemos, a menudo dentro del marco de una teoría aceptada.

La Física está construida sobre la confianza fundamental en la experimentación como guía definitiva del Universo. Eso no significa que los resultados experimentales no deban ser discutidos o que los teóricos se vean necesariamente humillados por el “hecho” empírico. Einstein dijo en una ocasión: “Los hechos son erróneos, ¿y?” A. M. Diñe, un físico de gran relevancia escribió: “Es más importante tener belleza en las ecuaciones que ajustarlas a los experimentos”. Aquí, la presunción es que las incógnitas ocultas pueden confundir la interpretación de la experiencia, una teoría “correcta” necesita sólo esperar los hechos “correctos”.

La veracidad de los datos se supone cuando los resultados empíricos son reproducibles y cuando diferentes investigadores obtienen la misma evidencia, con medios independientes; por rígidos que sean esos criterios, no excluyen una mala interpretación.

La Física es una ciencia empírica, su unión crucial con el mundo es la observación. Sin embargo, un catálogo con las observaciones más meticulosas añade poco o nada a nuestra comprensión de la naturaleza. La Física no es la guía de teléfonos que recoge todas las experiencias, ni el directorio de observaciones y mediciones, más bien es una búsqueda del orden existente debajo de la superficie de dichas mediciones.

Una ley empírica es el producto final de tal búsqueda, es la expresión de la forma de una estructura de hechos observados. Una ley revela los ritmos de un péndulo, otra traza el largo y gracioso arco de un misil balístico en vuelo libre, la ley de Coulomb considera la carga y la fuerza, la de Ohm relaciona corriente y voltaje – todos ellos hechos regulares, todos diagramas de recurrencia-.

Para el poeta y crítico inglés Samuel Coleridge, la belleza es la “unidad en la variedad”. También son así las leyes Físicas.

Por razones prácticas, las leyes empíricas que provienen directamente de la observación tienden a ser sencillas, incluso si hemos de limitar su alcance para que lo sean. La ley de Hooke para los resortes funciona muy bien, en tanto no estiremos el material demasiado. El movimiento del péndulo es muy simple, siempre que no comencemos el movimiento demasiado alto. El hecho de que existan leyes naturales ya es sorprendente, pero que además dichas leyes no sean complicadas es demasiado esperar, a pesar de la aseveración de Kepler de que “la naturaleza ama la simplicidad”. Sin embargo, uno de nuestros mitos científicos –que sin duda se fundamenta en la experiencia – dice que una formulación sencilla tiene más probabilidad de ser cierta que una complicada.

La ley empírica se origina en la medición Física –no sólo contar, digamos el número de habichuelas en un tarro, sino medir, lo que nunca puede hacerse en forma exacta-. No podemos medir el espesor de esta página con una precisión definitiva o el peso de este libro o el tiempo que se tarda en leer una línea (suponiendo que cada una de esas magnitudes sea constante, que no lo son). Siempre hay inexactitudes inevitables –los llamados errores experimentales- (que no deben confundirse con equivocaciones).

Mi cronómetro divide cada segundo en cinco partes iguales, por lo que no puedo medir el tiempo con una precisión ni siquiera de 1/100 de segundo con él. Por supuesto que podría usar un reloj mejor y reducir dicho error, pero también tendría sus límites. Cuando formulamos o comprobamos una ley, el proceso es siempre inexacto hasta cierto grado de error experimental. En definitiva, cuando una ley empírica dice “así son las cosas exactamente, ha de sobrepasar necesariamente sus propias bases experimentales”.

El paso gigante y realmente audaz es intentar “entender” la base de una ley empírica. Con este milagroso fin supóngase que recurrimos a la intuición y la imaginación y simplemente conjeturamos lo que está pasando. Por ejemplo, podemos suponer una interrelación entre varios conceptos fundamentales: fuerza, masa, aceleración –cualquiera que sea-. En cualquier caso, conjeturas –por muy inspiradas que sean, sólo serán conjeturas-, hipótesis, como han sido llamadas. Para comprender, saltamos de lo que sabemos a lo que sospechamos. Después, deducimos por lógica algunas de las consecuencias Físicas de las nuevas hipótesis. Si no encontramos nada reconocible en el mundo físico, habremos construido brillantemente una más de las infinitas teorías completamente inútiles pero, si llegamos por medios puramente lógicos a expresiones de una o más leyes empíricas familiares, habremos creado una teoría Física viable. Una teoría es un conjunto de hipótesis que explican algún orden observado de la naturaleza. Las teorías tienen un campo de aplicación variable: algunas, como la teoría de la gravedad, son generales y de amplia aplicación, pero otras son mucho más específicas y limitadas. Si conjeturamos que la Tierra que da vueltas y todos los demás planetas se mueven alrededor del sol, tenemos la teoría copernicana, que explica muchas observaciones. No obstante, se trata solo de una ley de interés local, pues revela muy poco de la naturaleza fundamental del universo como un todo.

Si por corroborar, verificar o confirmar queremos decir “hacer más cierto”, pero no alcanzar la certeza, entonces la teoría puede ser corroborada, podemos creer en ella y usarla, pero nunca demostrar que es cierta, aunque no dudemos de su grado de verdad. La teoría de la relatividad, por ejemplo, bien puede ser cierta, absolutamente cierta e inmutable en todo el universo, pero no estaremos seguros de ello hasta comprobar todas las posibilidades –y eso quiere decir, nunca-. De la misma forma que en religión no hay un principio de comprobación, en ciencia no puede haber un final.

El proceso de refutación de un sistema teórico es algo más efectivo que el proceso contrario de verificación. La ciencia evoluciona, no demostrando la certeza de cada teoría sino fracasando en probar que es falsa o, más exactamente, por la incapacidad de ponerla en duda. No existe ni por asomo un único experimento decisivo que por sí

mismo demuestre o desapruebe. En general, un experimento parece plantear tantos interrogantes como respuestas.

Ocurre en ocasiones que un desacuerdo entre lo predicho y lo observado provoca una reformulación de una teoría válida, robusteciéndola en lugar de debilitarla. Pero a menudo es asombroso ver hasta qué punto puede extenderse, reformularse, tergiversarse o reinterpretarse una teoría para “explicar” nuevas observaciones, a pesar del hecho de que toda la cuestión esté totalmente equivocada. Ni siquiera es imposible que una formulación teórica muerta y enterrada resucite, aunque esto no suceda a menudo. Cuando se acepta una nueva teoría, esta debe contener el conjunto completo de conocimientos de la antigua, al menos en principio, y así cada formulación sucesiva deberá ser más efectiva y de mayor alcance que sus predecesoras. Pero esto no significa que siempre ocurra de esta forma.

Las nuevas teorías compiten por dominar, no por ser más verdaderas sino por “explicar” más o mejor; haciendo predicciones comprobables y pasando pruebas meticulosas, teniendo los mínimos y menos profundos conflictos con las observaciones. Y también, si todas las cosas son iguales, cuanto más sencilla sea la formulación matemática, mejor acogida tendrá la teoría.

Fantasía o no, la visión teórica es la fuerza que impulsa a la investigación de los misterios de la naturaleza. De carácter tentativo e inspiración poderosa, la teoría hincha las velas de la ciencia. Una teoría es útil por su capacidad de explicación y por su poder de predicción; sigue siendo viable mientras continúe de acuerdo con las observaciones, pasadas y presentes, nunca es incontestable y, raramente, indiscutida, su certeza nunca es absoluta, pero su fiabilidad es total, su deducción de la naturaleza no es un proceso sencillo, sino que es la creación imaginativa de la mente humana. Si funciona, la utilizamos y si alguna vez nos falla, tratamos de reemplazarla con una concepción nueva.

Podría preguntarse: ¿Cómo se hace ciencia? ¿Cuáles son los pasos del proceso que conduce a la feliz verdad? Bien, no vendemos verdades, sino entendimiento, el camino está sembrado de errores y no hay en realidad ningún procedimiento sistemático perfecto de actuación. La ciencia evolucione tanto por los grandes vuelos de “la imaginación creativa”, como por una lógica metódica, y tanto por accidente, como a propósito. Y sin embargo, bajo todo eso está la convicción en Física de que cada conclusión debe comprobarse con la naturaleza, y eso, si se quiere, es la actitud científica.

### **Actividad**

De acuerdo a lo expuesto en el texto anterior y a tus conocimientos previos, ¿qué opinas sobre las siguientes afirmaciones?

- La física nos permite conocer el universo tal cual es.
- Podemos conocer la medida exacta de un objeto siempre que contemos con los instrumentos apropiados.

## Autoevaluación I

1. ¿Cuál de las siguientes hipótesis puede considerarse científica?
  - a. La tierra se encuentra rodeada por un fluido imposible de detectar llamado éter.
  - b. La velocidad con que caen los cuerpos es proporcional a su masa.
  - c. La física es la ciencia más entretenida.
2. ¿Cuántos experimentos correctos necesitamos para refutar una teoría? ¿Y para demostrarla? Fundamenta tu respuesta.

**Nota: la respuesta a los problemas de autoevaluación se encuentra al final del dossier.**

## El trabajo experimental

Como se ha mencionado anteriormente, la física estudia fenómenos naturales y fundamenta sus teorías a partir de las experiencias. Por ello, podemos decir que el trabajo experimental es un pilar fundamental en la construcción del conocimiento que genera esta ciencia.

Ahora, ¿qué es el trabajo experimental? ¿Qué es una experiencia? ¿Cómo se lleva a cabo? ¿De qué forma una verifica o refuta las hipótesis propuestas? ¿Qué características debe tener para ser científicamente válida?

El conocimiento científico en general intenta, por sobre todas las cosas, ser lo más objetivo posible (no puede ser totalmente objetivo porque está producido por personas que siempre impregnamos lo que hacemos con nuestra subjetividad). Para ello, los científicos trabajan en sus investigaciones siguiendo metodologías que eviten al máximo los errores, tanto conceptuales como de realización. Aunque no existe un solo método que todos repitan, podemos decir que existen una serie de etapas que se cumplen en toda investigación:

- Observación de un fenómeno que no sabemos explicar.
- Generación de una posible explicación (hipótesis).
- Predicción de las consecuencias de la hipótesis.
- Diseño y realización de experiencias que permitan probar las predicciones anteriores.
- Construcción de una regla general en base a los puntos anteriores: ley, teoría o principio.

Aunque esta serie de “pasos” parezca sencilla a primer golpe de vista, cada uno tiene características bien definidas que permiten que el conocimiento generado al seguirlos sea científico y no una simple descripción de un fenómeno observado. A continuación haremos hincapié en algunas características de estos “pasos”.

En primer lugar, cuando hablamos de observación nos referimos no a la que hacemos habitualmente de nuestro entorno sino a la **observación experimental**. Cuando vemos



las estrellas cielo, la lluvia, un cuerpo caer, el sol “salir” y “ocultarse”, un niño jugando en una hamaca, estamos observando fenómenos y podemos describir lo que sucede pero, en la mayoría de los casos, sólo hacemos eso, describir. Sin embargo, la observación experimental (científica) pretende más que eso. Su objetivo es analizar el fenómeno, es obtener datos que nos permitan responder preguntas tales como ¿por qué el sol “sale” por el este y se “oculta” por el oeste? ¿A qué se debe la diferencia horaria entre estos dos eventos? ¿Por qué cambia este intervalo de tiempo al pasar los días? ¿Por qué un cuerpo cae al suelo? ¿Con qué aceleración lo hace? ¿Caen de la misma forma todos los cuerpos? ¿Por qué? ¿Por qué unas estrellas brillan más que otras? ¿A qué se debe que no siempre estén en igual posición? ¿A qué se debe la lluvia? ¿Por qué la hamaca se detiene si el niño no se impulsa? ¿Qué determina el tiempo que demora la hamaca en volver a su posición inicial? Este tipo de preguntas, no pueden ser respondidas por la simple observación. Para hacerlo es necesario, en primer lugar, **enfocar nuestra observación en un objetivo preciso**, por ejemplo, cuánto tiempo demora un cuerpo en caer desde una altura determinada. Entonces, podemos dejar caer un cuerpo varias veces desde una misma altura y medir el tiempo que demora en llegar al suelo. Lo que hicimos es observar **una sola variable** entre las tantas existentes en un fenómeno (rozamiento con el aire, masa, velocidad y aceleración del cuerpo, temperatura ambiente, humedad atmosférica, entre otras). Del ejemplo surgen otras dos características importantes de la observación experimental y son que en ella se **provoca la aparición del fenómeno y se lo repite las veces que sea necesario**.

Partiendo de este tipo de observación, basado en sus conocimientos e indefectiblemente influenciado por su bagaje cultural y sus prejuicios, el investigador plantea una **hipótesis** que es una posible explicación del fenómeno. Por ejemplo, si la observación inicial es que todos los cuerpos demoran el mismo tiempo en caer desde una misma altura podríamos formular una hipótesis tal como “todos los cuerpos caen con igual aceleración, independientemente de su masa”

La hipótesis planteada debe permitir realizar **predicciones** que podamos corroborar mediante la realización de experiencias. Por ejemplo: si todos los cuerpos caen con la misma aceleración, entonces el tiempo de caída de un cuerpo 1kg de masa desde una altura de 1m debe ser el mismo que el de otro de 2kg.

A continuación, el investigador diseña y ejecuta experiencias con el fin de corroborar o refutar dichas predicciones (lo que implica poner a prueba la hipótesis). Las características principales de estas experiencias es que le deben permitir al científico:

- Controlar las distintas variables implicadas (masa del cuerpo, tiempo de caída, altura inicial, rozamiento con el aire, etc.)
- Repetir el proceso todas las veces que sea necesario.
- Recabar datos que permitan corroborar o refutar la hipótesis.



En esta etapa toma especial importancia la **medición** de distintas magnitudes. Tal como expresa Hecht en el texto de anterior, “siempre hay inexactitudes inevitables –llamados errores experimentales-“. Tanto los instrumentos de medición utilizados como el uso que hace el científico de los mismos generan errores que no nos permiten conocer el valor real de una medida. Sin embargo, si somos conscientes de esto y actuamos en consecuencia podemos obtener valores de medida aceptables que nos permitan analizar correctamente un fenómeno. Más adelante profundizaremos sobre este tema.

Una vez puesta a prueba la hipótesis, si las experiencias realizadas concuerdan con sus predicciones, el científico puede postularla como una regla general. Esta regla será puesta a prueba por el resto de la comunidad científica, en distintos lugares del mundo, en diversas condiciones y será más sólida cuanto mayor cantidad de experiencias favorables encuentre. Sin embargo, ante un fallo en las predicciones, la misma deberá ser revisada, corregida e incluso descartada. Esto es muy importante de destacar, la física interpreta el universo generando **modelos** que explican los distintos fenómenos naturales, pero estos modelos son creaciones de nuestra mente basadas en lo que podemos ver, por lo tanto, no nos indican cómo son los fenómenos en sí sino que son una representación de cómo los vemos nosotros. Históricamente, la física ha tenido que modificar sus teorías y leyes o cambiarlas por otras que explican mejor el universo y eso, no es un fracaso de la ciencia, es su forma de avanzar hacia un mejor entendimiento de nuestro entorno.

El paso del modelo geocéntrico (tierra en el centro) al heliocéntrico (sol en el centro) es un claro ejemplo de esto así como también lo es de la resistencia que opone tanto la sociedad (con su cultura e instituciones) como la comunidad científica al cambio de teorías que son afines con nuestro sentido común. Si nos detenemos a observar el cielo, el movimiento del sol, la luna y las estrellas, no es ilógico pensar que todos se mueven en torno a la tierra en vez de imaginar un sistema solar como el que hoy conocemos. Para nuestra experiencia cotidiana es más razonable considerar que la tierra está en reposo que pensar que gira en torno al sol y, a su vez, sobre su propio eje. Sin embargo, la aplicación de la **observación experimental** y el **análisis riguroso de los datos obtenidos** de ella llevó a la comunidad científica a encontrar fallos en la teoría geocéntrica. Muchos científicos intentaron corregirla, por ejemplo, modificando la órbita de marte con epiciclos para explicar el porqué de su avance y retroceso en la bóveda celeste, sin resultados satisfactorios. En un momento, Copérnico planteó una hipótesis: la tierra y el resto de los planetas giran en torno al sol. Este cambio de paradigma permitió explicar y predecir los fenómenos observados en el cielo de una forma mucho más precisa. Más adelante, Galileo nos permitió ver mejor y así poder mejorar nuestras experiencias (telescopio) y, a su vez, pudo explicar por qué no salimos disparados de la tierra si esta gira a tan alta velocidad. Kepler mejoró la teoría encontrando que las órbitas eran elípticas y no circulares, luego Newton desarrolló una teoría que explica por qué giramos en torno al sol y, más adelante, Einstein nos permitió mejorar la teoría Newtoniana y así el modelo general de entendimiento de nuestro sistema solar. Todos estos científicos mejoraron el modelo propuesto por Copérnico y es así como el

conocimiento del mundo físico avanza. No existen teorías ni leyes definitivas y todas son perfectibles. En este camino a la perfección, el trabajo experimental juega el rol fundamental de ser quien las valida o pone en tela de juicio.

## La medición en física

### Magnitudes físicas: concepto y clasificación

Hasta el momento hemos hablado de cómo conoce la ciencia y en particular la física y de la relevancia que tiene en este proceso el trabajo experimental. A su vez, mencionamos que dentro de éste, la medición de distintas magnitudes tiene un papel preponderante.

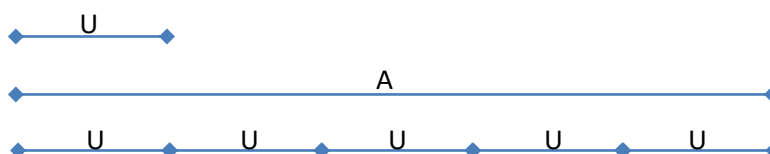
Para comenzar debemos decir que una **magnitud física** es toda propiedad de los sistemas físicos (cuerpos o fenómenos) que es susceptible de ser medida y puede expresarse con un número y una unidad. Longitud, masa, tiempo, velocidad, aceleración, fuerza, son ejemplos de magnitudes físicas.

Las magnitudes físicas pueden clasificarse en dos grandes grupos: **escalares y vectoriales**. Las primeras son las que quedan perfectamente definidas con un número y una unidad. Entre ellas se encuentran masa, longitud y tiempo. Si pedimos en un comercio 1kg de harina, el vendedor no tendrá ninguna duda de qué necesitamos. En cambio, hay otras magnitudes que necesitan de una mayor cantidad de información para quedar perfectamente definidas. Por ejemplo, si le pedimos a alguien que realice una fuerza de 100N sobre una silla, no sabrá en qué lugar de la misma hacerlo, ni hacia dónde dirigir la fuerza. Por ello, además del número y la unidad debemos indicar el punto de aplicación, la dirección y el sentido en que deberá realizarse. Este tipo de magnitudes son las que llamamos **vectoriales** ya que se representan gráficamente con vectores que nos ofrecen toda la información necesaria. Más adelante trabajaremos sobre este tema.

### ¿Qué hacemos cuando medimos?

La respuesta más sencilla a este interrogante es: **comparar**. Al medir comparamos una cantidad (A) de una magnitud con otra (U) de la misma magnitud física que consideramos **unidad**. Al comparar estas cantidades, obtenemos un valor (n) que nos indica cuántas veces está contenida la unidad U en la cantidad A. Matemáticamente esta comparación es el cociente de A sobre U.

Gráficamente:



Observando la representación anterior vemos que el segmento  $U$  es la unidad de longitud y la cantidad a medir es  $A$ . Si comparamos obtenemos que  $\frac{U}{A} = n = 5$  lo que indica que la unidad está incluida 5 veces en la cantidad  $A$ .

Si suponemos que  $U = 1m$  (un metro) entonces  $A = n * U = 5 * 1m = 5m$

Este proceso es el que empleamos al medir cualquier magnitud. Si queremos conocer el ancho de una hoja de papel podemos utilizar una regla y, al presentarla frente a la hoja, comparamos las unidades de longitud impresas en la misma (centímetros o milímetros) con la cantidad a medir. Si el ancho de la hoja es 21cm podemos decir que la unidad “centímetro” está incluida 21 veces en dicho ancho.

### Unidades y Sistemas de unidades

Ahora bien, en el ejemplo anterior tomamos como unidad ( $U$ ) una medida cualquiera. Sin embargo, en la práctica y sobre todo en el ámbito de la investigación científica se definen unidades (elegidas arbitrariamente) para todas las magnitudes físicas para que todos los investigadores “hablen el mismo idioma”, es decir, todos expresen los resultados de sus experiencias con las mismas unidades.

En 1960, una comisión internacional coincidió en un **Sistema de unidades** para las magnitudes básicas de la ciencia, denominado **Sistema internacional (SI)**. En dicho sistema se establecieron las siguientes unidades básicas:

Magnitud física	Unidad en el SI	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Corriente eléctrica	Ampere	A
Temperatura	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	Mol	mol
Intensidad luminosa	Candela	cd

El resto de las magnitudes físicas tienen unidades que surgen de la combinación de las anteriores y, por ello, se denominan “unidades derivadas”. Algunas de ellas son:

Magnitud física	Unidad en el SI	Símbolo
Velocidad	m/s	m/s
Aceleración	m/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>
Superficie	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Volumen	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Fuerza	Newton	N ( $N = kg * m/s^2$ )
Trabajo	Joule	J ( $J = N * m$ )
Carga eléctrica	Coulomb	C ( $C = A * s$ )

Los patrones actuales utilizados para definir el metro, el kilogramo y el segundo son los siguientes:

**Metro:** es la distancia recorrida por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de  $1/299.792.458$  segundos. (Aquí se considera el valor de la velocidad de la luz como  $299.792.458\text{m/s}$ ).

**Kilogramo:** es la masa de un cilindro específico de aleación platino-iridio que se guarda en la Internacional Bureau of Weights and Measures en Sèvres, Francia.

**Segundo:** se define como  $9.192.631.770$  veces el período de oscilación de radiación a causa del átomo de cesio.

Así como el **SI** también existen otros sistemas de unidades entre los que podemos mencionar al CGS y Técnico. En ellos, las unidades de longitud, masa y tiempo son:

Magnitud física	CGS	Técnico
Longitud	Centímetro (cm)	Metro (m)
Masa	Gramo (g)	Unidad técnica de masa (utm)
Tiempo	Segundo (s)	Segundo (s)

### Múltiplos y submúltiplos

Para todas las unidades de medida se utilizan múltiplos y submúltiplos (en potencias de 10) a fin de expresar en forma sencilla distintas mediciones. En la siguiente tabla se presentan los más comunes y sus abreviaturas:

Prefijo	Abreviatura	Potencia
pico-	p	$10^{-12}$
nano-	n	$10^{-9}$
micro-	$\mu$	$10^{-6}$
mili-	m	$10^{-3}$
centi-	c	$10^{-2}$
deci-	d	$10^{-1}$
deca-	da	$10^1$
hecto-	h	$10^2$
kilo-	k	$10^3$
mega-	M	$10^6$
giga-	G	$10^9$
Tera-	T	$10^{12}$

### Conversión de unidades

Como ya hemos mencionado, las magnitudes físicas se expresan con un número y una unidad. Cuando trabajamos con ecuaciones en física, las unidades se suman, multiplican o dividen tal como cualquier otra magnitud algebraica. De esa forma es que podemos encontrar errores en nuestros cálculos atendiendo a las unidades resultantes de los mismos. Por ejemplo, para calcular la distancia (x) recorrida por un automóvil que

viaja con una rapidez ( $v$ ) de 120km/h (kilómetros por hora) durante un tiempo  $t=2,5h$  debemos hacer:

$$x = v \times t = 120 \frac{km}{h} \times 2,5h = 300km$$

Como vemos, la unidad hora, presente en el numerador y denominador, puede simplificarse (como si fuera un número) y obtenemos el resultado en kilómetros. Este resultado es coherente ya que calculamos una distancia y obtuvimos como resultado una unidad de longitud.

Habitualmente es necesario convertir las unidades de un sistema a otro o expresarlas con un múltiplo o submúltiplo. Uno de los procedimientos que podemos utilizar consiste en multiplicar la cantidad a convertir por una fracción que denominaremos **factor de conversión**. Supongamos que queremos convertir 32,3km en m. Sabemos que 1000m=1km, por lo tanto:

$$\frac{10^3m}{1km} = 1$$

Como toda magnitud puede multiplicarse por 1 sin modificar su valor, podemos hacer:

$$32,3km \times \frac{10^3m}{1km} = 32.300m$$

Como vemos, las unidades nos ayudan a resolver la conversión ya que si hubiéramos colocado en el numerador 1km y en el denominador 1000m, el resultado del producto de las unidades hubiera sido  $(km)^2/m$ , indicando que cometimos un error.

Este método, también puede utilizarse para convertir varias unidades en un solo cálculo, como se ve en el siguiente ejemplo:

*Un automóvil se desplaza a 72km/h. Expresar dicha rapidez en metros por segundo (m/s):*

$$v = 72 \frac{km}{h} \times \frac{1000m}{1km} \times \frac{1h}{3600s} = \frac{72 \times 1.000m}{3600s} = 20 \frac{m}{s}$$

El primer factor de conversión nos permite pasar de km a metros y el segundo de horas a segundos. De esta forma convertimos las dos unidades en un solo cálculo.

El mismo método nos permite convertir unidades de área o volumen de forma sencilla. Por ejemplo, si deseamos expresar un 2,1m<sup>3</sup> en cm<sup>3</sup> podemos plantear el factor de conversión  $\frac{100cm}{1m}$  y elevarlo al cubo:

$$2,1m^3 \times \left(\frac{100cm}{1m}\right)^3 = 2,1m^3 \times \frac{1 \times 10^6cm^3}{1m^3} = 2,1 \times 10^6cm^3$$

### Actividades

1. Realizar las siguientes conversiones de unidades:
  - a. 203g a kg
  - b. 36km/h a m/s
  - c. 10m/s a km/h
  - d. 30km/min a cm/s
  - e. 50m/min a km/h
2. En el sistema británico, que habitualmente se utiliza para medición en materiales de construcción, las unidades de medida de longitud son la pulgada (1in=2,54cm) y el pie (1ft=0,304m).
  - a. ¿Cuántos metros mide un hierro de 20 pulgadas?
  - b. ¿Cuántos metros mide una chapa de 13 pies?
3. La velocidad de la luz es  $3 \times 10^8$ m/s. ¿Cuántos kilómetros recorre la luz en un minuto?
4. La densidad del plomo es 11,3g/cm<sup>3</sup>. ¿Cuál es su equivalencia en kilogramos por metro cúbico?
5. El motor de un automóvil tiene una potencia de 154CV. Si 1CV=735W (Watt), ¿Cuál es la potencia de dicho motor en kilowatts?

### Autoevaluación II

1. Si nos dicen que para calcular la superficie de un círculo debemos hacer el producto del número "pi" por el radio del mismo, o sea,  $S = \pi \times r$  ¿Esto es correcto? Argumenta tu respuesta mediante el uso de unidades de medida.
2. La densidad de un material se calcula dividiendo su masa por su volumen. Si un trozo de hierro tiene una masa de 1,17kg y un volumen de 150cm<sup>3</sup>, ¿Cuál/es de los siguientes valores corresponde/n con su densidad?
  - a. 1,17kg/cm<sup>3</sup>
  - b. 7.800kg/m<sup>3</sup>
  - c. 1.170g/cm<sup>3</sup>
  - d. 7,8g/m<sup>3</sup>
  - e.  $7,8 \times 10^3$ kg/m<sup>3</sup>
  - f. 7,8g/cm<sup>3</sup>



3. Un litro (l) es el volumen de un cubo de 10cmx10cmx10cm (1dm<sup>3</sup>). ¿A cuántos litros equivale un metro cúbico (m<sup>3</sup>)?

**Nota:** la respuesta a los problemas de autoevaluación se encuentra al final del dossier.

## Incertezas y errores

### Expresión de una medición directa

Las mediciones de distintas magnitudes físicas podemos clasificarlas en dos grandes grupos: directas e indirectas. Una **medición directa** es aquella que resulta de comparar directamente la cantidad a medir con una unidad de algún sistema de unidades. Este tipo de mediciones son las que realizamos con distintos instrumentos calibrados. Cuando medimos la longitud de una varilla con una regla, la masa de un cuerpo en una balanza, el intervalo de tiempo entre dos acontecimientos, etc.

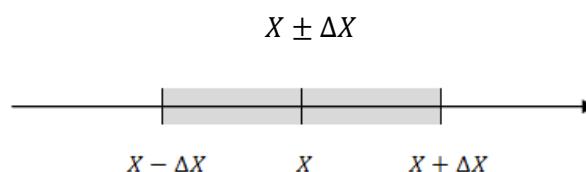
En cambio, las **mediciones indirectas** resultan de un cálculo en el que se combinan distintas mediciones directas. Por ejemplo, para medir la rapidez media de un automóvil debemos realizar el cociente entre la distancia recorrida por este (medición directa) y el intervalo de tiempo que empleó para recorrerla (otra medición directa). Otro ejemplo podría ser la medida de superficie de un terreno rectangular que se calcula haciendo el producto de la base (medida directa) por la altura (medida directa).

Tal como expresamos anteriormente, cuando un persona realiza una medición directa con determinado instrumento no puede hallar valor verdadero de la cantidad medida, debido a limitaciones en los instrumentos de medida, a las interacciones entre el instrumento y lo que se quiere medir, a las limitaciones de los sentidos de la persona que interviene, etc. En consecuencia, **siempre existen las incertezas o errores experimentales.**

Se denomina **apreciación o aproximación** de un instrumento a la menor división de la escala del mismo. Por ejemplo, una regla graduada en milímetros tiene una apreciación  $\Delta X = 1mm$  y un termómetro graduado en décimos de grado Celsius tiene una apreciación  $\Delta X = 0,1^\circ C$ .

Debido a las incertezas experimentales, cuando una persona realiza una medición, lee en la escala del instrumento al mejor valor aproximado, X.

La expresión correcta para la medición directa debe estar acompañada por la apreciación del instrumento empleado, que ahora se la llama **incerteza absoluta**:



Esto significa que el mejor valor aproximado  $X$ , está dentro de un **intervalo de incerteza**, cuya longitud es  $2 \times \Delta X$ , dentro del cual se espera hallar el valor verdadero o exacto.

El número de cifras de una lectura está dado por el lugar de la cifra significativa en la apreciación o de la estimación. Por ejemplo si la apreciación del instrumento es de  $\Delta X = 0,02mm$ , una lectura no puede expresarse sólo con décimos ni llegar al milésimo. Deberá llegar hasta los centésimos. Una expresión correcta es:

$$12,44 \pm 0,02mm$$

Expresiones tales como  $12mm$ ,  $12,4mm$  y  $12,442mm$  son erróneas ya que en las dos primeras se desperdicia información y en la última se agrega una cifra que nuestro instrumento es incapaz de medir.

Cuando realizamos experiencias en el laboratorio, habitualmente las repetimos entre 5 y 10 veces para obtener varios valores de una misma variable. Esto nos permite hallar un mejor valor aproximado de la cantidad a medir y salvar ciertos errores correspondientes al uso del instrumento o la observación realizada.

Por ejemplo, si queremos medir el tiempo de caída de un cuerpo desde cierta altura para calcular la aceleración con que se mueve, lo dejamos caer desde la misma altura varias veces y registramos todos los valores de intervalos de tiempo obtenidos. Seguramente estos no coincidirán exactamente, sin embargo, es esperable que todos sean similares. Supongamos que realizamos 10 mediciones y obtenemos los siguientes valores:

Medición N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor obtenido	4,02s	4,05s	3,90s	4,22s	7,14s	3,95s	4,16s	4,34s	3,83s	4,13s

La mayoría se encuentran en torno a los 4,00s pero hay uno que está muy desfasado (7,14s). Esta medición debe ser descartada ya que claramente es el resultado de un error en el procedimiento de la medida.

El resto de ellas podemos utilizarlas para obtener un **mejor valor aproximado (X)** hallando el valor promedio de las mismas:

$$X = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Este valor seguramente es más cercano al valor verdadero de la cantidad medida que si hubiéramos tomado sólo una medición.

En este caso, para obtener la **incerteza absoluta ( $\Delta X$ )** podemos calcular el “error cuadrático” que se obtiene haciendo:

$$\Delta X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n(n-1)}}$$

Si el resultado obtenido de este cálculo es mayor que la apreciación del instrumento utilizado, entonces lo utilizamos como incerteza absoluta. En cambio, si la apreciación del instrumento es mayor, usamos dicho valor como incerteza absoluta de la medición.

La expresión final de la medición será igualmente  $X \pm \Delta X$ .

### Errores

Para determinar la precisión de una medición se calcula la incerteza relativa (o error relativo) y la incerteza relativa porcentual (o error relativo porcentual).

La **incerteza relativa** es el cociente entre la incerteza absoluta ( $\Delta X$ ) y la medición obtenida:

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{X}$$

La **incerteza relativa porcentual** es el producto entre la incerteza relativa por 100%:

$$\varepsilon_{\%} = \varepsilon \times 100\%$$

Esta incerteza nos permite clasificar las mediciones:

- Si  $\varepsilon_{\%} > 10\%$  la medición es despreciable.
- Si  $1\% < \varepsilon_{\%} < 10\%$  la medición es precisa.
- Si  $\varepsilon_{\%} < 1\%$  la medición es muy precisa.

### Actividades

1. Un estudiante mide el ancho de un pupitre cuyo valor representativo es de 0,430m teniendo una incerteza absoluta de 0,002m. Por otra parte, otro estudiante mide la altura de la puerta del aula que tiene un valor de 1,92m y una incerteza absoluta de 0,5cm.
  - a. Expresa correctamente ambas mediciones
  - b. Determina cuál de las dos mediciones es la más precisa
2. Propone un ejemplo concreto de:
  - a. Una mala medición realizada con un instrumento de mucha precisión.
  - b. Una buena medición realizada con un instrumento con poca precisión.
3. Completa el siguiente cuadro:

- Determina la aproximación del instrumento a utilizar.
- Mide una cantidad con cada uno de ellos.
- Expresa la medición directa.
- Calcula las incertezas relativa y porcentual.

Instrumento	$\Delta X$	$X$	$X \pm \Delta X$	$\varepsilon$	$\varepsilon\%$
Regla graduada					
Transportador					
Termómetro					
Probeta graduada					
Calibre					
Dinamómetro					

### Autoevaluación III

- Propone un método para medir el espesor de una hoja común con una regla graduada en milímetros.

**Nota:** la respuesta a los problemas de autoevaluación se encuentra al final del dossier.

## Algunas herramientas utilizadas en física

### Relaciones entre magnitudes y gráficos

Cuando realizamos experiencias en física o al analizar fenómenos naturales en general solemos relacionar distintas variables por medio de ecuaciones. Por ejemplo, relacionamos la distancia recorrida por un auto y el tiempo que demoró en hacerlo para obtener su rapidez media, o la masa de un cuerpo con su peso, o la fuerza aplicada con un resorte y el estiramiento experimentado por éste, así como también la energía potencial gravitacional de un cuerpo con su altura, entre muchos otros casos.

En general, las leyes y teorías físicas se expresan mediante ecuaciones que no son más que relaciones entre distintas variables. Ahora bien, entre estas relaciones podemos distinguir dos grandes tipos: las de proporcionalidad directa y las de proporcionalidad inversa. Estas relaciones pueden apreciarse claramente en los gráficos, otra herramienta muy utilizada por los físicos.

A continuación describiremos cada una de estas relaciones y sus representaciones gráficas.

### ¿Qué es una proporción?

Una proporción es la igualdad entre dos razones (cocientes). Por ejemplo:

$$\frac{A}{B} = \frac{C}{D}$$

Esto se puede leer como: “A es a B así como C es a D”.

Por ejemplo, una proporción sería  $\frac{5}{4} = \frac{20}{16}$  ya que  $1,25 = 1,25$

A esta proporción podemos reescribirla del siguiente modo:

$$\begin{array}{c} \text{Extremos} \\ \left. \begin{array}{c} A : B = C : D \end{array} \right\} \\ \text{Medios} \end{array}$$

Una propiedad fundamental de las proporciones es que el producto de sus extremos es igual al producto de los medios. Siguiendo el ejemplo vemos que:

$$\frac{5}{4} = \frac{20}{16} \Rightarrow 5 : 4 = 20 : 16$$

$$5 \times 16 = 4 \times 20$$

$$80 = 80$$

Aunque no lo explicitamos, cuando utilizamos el método del factor de conversión para convertir unidades de medida o cuando aplicamos la regla de tres simple, estamos utilizando proporciones. Decimos, mil metros son un kilómetro, entonces 3.400m son:

$$\frac{1km}{1.000m} = \frac{xkm}{3.400m}$$

Despejamos la variable a encontrar y obtenemos:

$$xkm = 1km \times \frac{3.400m}{1.000m} = 3,4km$$

### Proporcionalidad directa

Decimos que dos variables (dependientes entre sí) son **directamente proporcionales** cuando **al aumentar una también lo hace la otra en igual proporción**. Por ejemplo, el peso de un cuerpo es directamente proporcional a su masa significa que, si aumenta la masa del mismo, aumentará su peso.

$$P \propto m$$

Otra forma de definir la proporcionalidad directa es diciendo que **el cociente entre dos magnitudes directamente proporcionales es una constante**. Ésta se denomina “**constante de proporcionalidad**”. Siguiendo el ejemplo de masa y peso, si dividimos el peso por la masa obtendremos siempre el mismo valor: la aceleración de la gravedad (siempre y cuando hagamos la experiencia en un mismo lugar ya que dicha aceleración varía en distintos puntos de la tierra) que es la “constante de proporcionalidad” entre el peso y la masa de un cuerpo.

$$P = mg$$

$$\frac{P}{m} = g$$

Donde  $g$  es la aceleración de la gravedad.

Los **gráficos** son herramientas muy útiles para reconocer las relaciones entre variables. Ahora ¿cómo se construye un gráfico? En primer lugar debemos trazar dos rectas perpendiculares entre sí, una horizontal y otra vertical, que se corten en un punto. Las rectas se denominan “eje de abscisas” y “eje de ordenadas” y el punto en que se cortan es el “origen”. El conjunto de las dos rectas se llama “sistema de ejes cartesianos”. En el eje horizontal se representa la **variable independiente**, o sea, la que nosotros podemos cambiar en la experiencia, por ejemplo, la masa de los distintos cuerpos que utilicemos. En el eje vertical representamos la **variable dependiente**, o sea, la que medimos cuando realizamos la experiencia y que cambia al modificar la variable independiente. Ambos ejes deben graduarse con escalas que resulten prácticas. Para ello debemos considerar los valores máximos y mínimos que tenemos para representar en el gráfico y dividir los ejes en segmentos iguales.

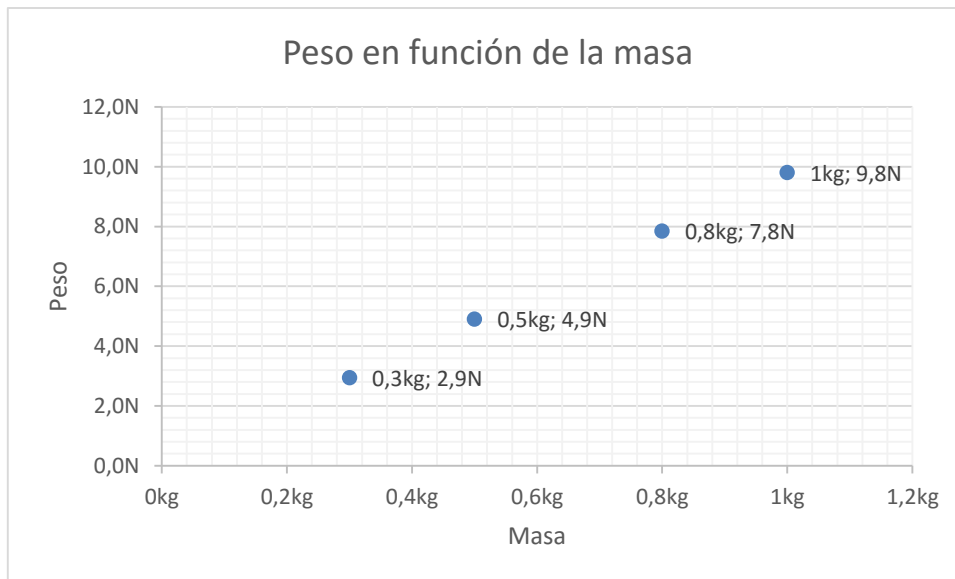
Volvamos al ejemplo del peso de un cuerpo. Si queremos comprobar la relación entre la masa y el peso de un cuerpo podemos elegir varios cuerpos de distintos, medir su masa con una balanza de platillos y su peso con un dinamómetro y finalmente representarlos en el sistema de ejes cartesianos.

Supongamos que medimos estas magnitudes en cuatro cuerpos distintos y obtenemos los siguientes resultados:

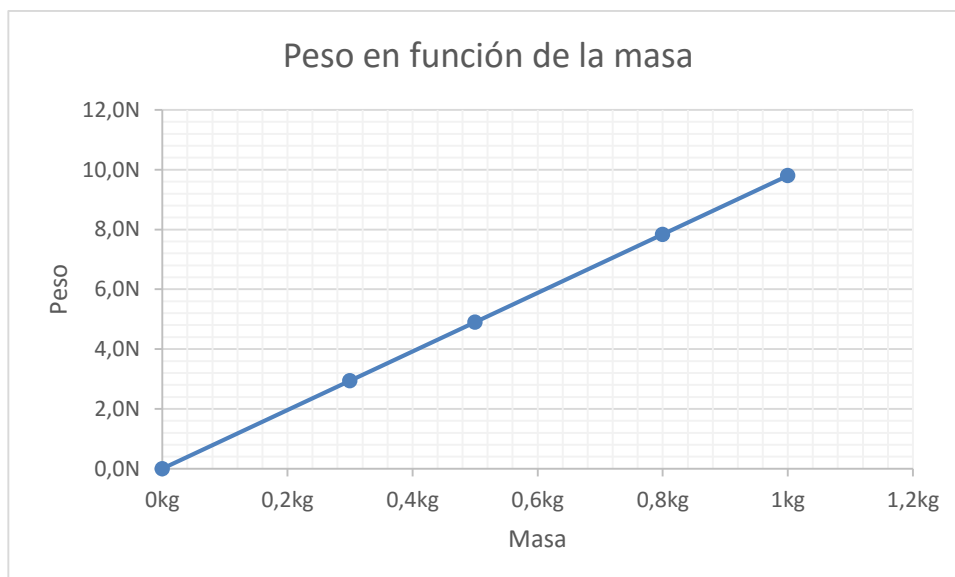


Cuerpo N°	1	2	3	4
Masa	0,5kg	1kg	0,8kg	0,3kg
Peso	4,9N	9,8N	7,8N	2,9N

A cada cuerpo le corresponde un valor de masa y uno de peso. Para representarlos en un gráfico, en primer lugar, debemos elegir una escala para la masa (por ejemplo, 1cm=0,1kg) en el eje de abscisas, una para el peso (p.ej.: 1cm=1N), en el eje de ordenadas. Luego representamos cada cuerpo como un punto que tenga un valor en abscisas igual a su masa y otro en ordenadas igual al peso. A continuación se muestra el gráfico que obtendríamos:



Una vez representados los puntos, para obtener el gráfico propiamente dicho, debemos trazar una línea continua que una estos puntos:



El gráfico obtenido es una **línea recta, que pasa por el origen y tiene pendiente positiva (ángulo que forma con el eje de abscisas)**. Este tipo de gráfico nos indica

que la relación entre las magnitudes comparadas (masa y peso) es **directamente proporcional**. Muchas veces, al realizar experiencias resulta práctico graficar los resultados obtenidos para poder observar cuál es la relación entre las variables. Si el resultado es una recta como la anterior, entonces estamos ante dos magnitudes directamente proporcionales.

A su vez, utilizando los valores de la tabla, podemos verificar la proporcionalidad. Como dijimos anteriormente, si dos magnitudes son directamente proporcionales, su cociente debe ser una constante. Probemos esto con los valores de la tabla anterior:

$$\frac{4,9N}{0,5kg} = 9,8m/s^2$$

$$\frac{9,8N}{1kg} = 9,8m/s^2$$

$$\frac{7,8N}{0,8kg} = 9,8m/s^2$$

$$\frac{2,9N}{0,3kg} = 9,8m/s^2$$

Como vemos, todos los cocientes dan el mismo resultado, el valor de la aceleración de la gravedad ( $g$ ).

### Proporcionalidad inversa

Dos magnitudes son **inversamente proporcionales** si cuando **una aumenta la otra disminuye en la misma proporción**. Por ejemplo, la rapidez media de un móvil es inversamente proporcional al intervalo de tiempo ya que al aumentar este último, disminuye su rapidez (manteniendo constante la distancia recorrida). Otra forma de definirlo es la siguiente: **el producto de dos magnitudes inversamente proporcionales es una constante**. Es decir, en el ejemplo anterior, si multiplicamos la rapidez por el intervalo de tiempo obtendremos una constante, la distancia recorrida. Para que ésta se mantenga constante, si aumenta el intervalo de tiempo debe disminuir la rapidez y viceversa.

Supongamos que en una carrera de regularidad para autos antiguos todos recorren 100km. Los intervalos de tiempo que emplearon para hacerlo se muestran en la siguiente tabla:

Auto	Tiempo de carrera
Porsche 911	0,6h
Ford T	2,5h
Torino 380W	0,85h
Ferrari 308GTB	0,7h
DKW	1,5h
Fiat 125	1,2h

Dodge GTX	0,8h
Fiat 600	1,8h

La rapidez media de cada uno de ellos la podemos obtener realizando el cociente entre la distancia total recorrida y el intervalo de tiempo empleado para hacerlo:

$$v_{Porsche} = \frac{100km}{0,6h} = 166,67 \frac{km}{h}$$

$$v_{Ford} = \frac{100km}{2,5h} = 40 \frac{km}{h}$$

$$v_{Torino} = \frac{100km}{0,85h} = 117,65 \frac{km}{h}$$

$$v_{Ferrari} = \frac{100km}{0,7h} = 142,86 \frac{km}{h}$$

$$v_{DKW} = \frac{100km}{1,5h} = 66,67 \frac{km}{h}$$

$$v_{Fiat\ 125} = \frac{100km}{1,2h} = 83,33 \frac{km}{h}$$

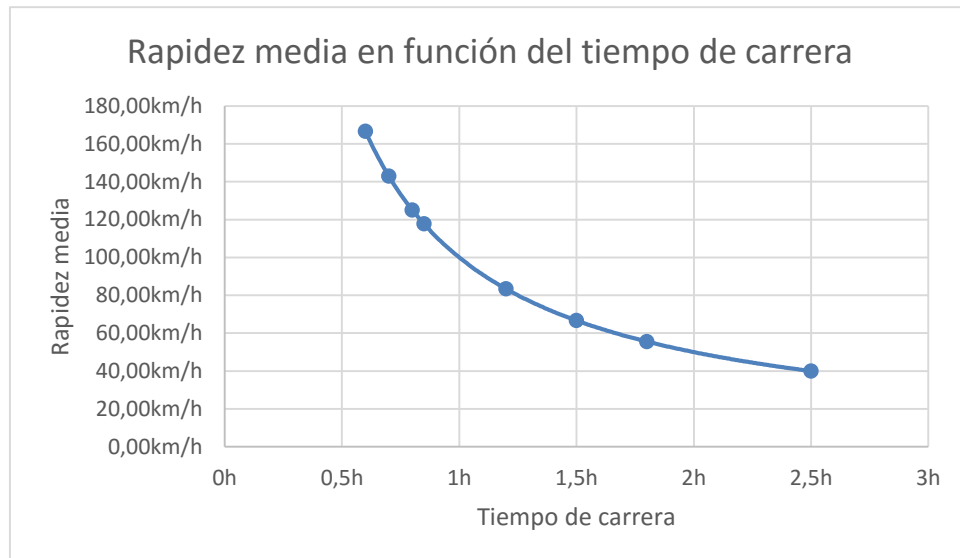
$$v_{Dodge} = \frac{100km}{0,8h} = 125 \frac{km}{h}$$

$$v_{Fiat\ 600} = \frac{100km}{1,8h} = 55,56 \frac{km}{h}$$

Si tomamos el intervalo de tiempo como variable independiente (eje horizontal – abscisas) y la rapidez media como variable dependiente (eje vertical – ordenadas) podemos graficar los valores obtenidos. Antes de ello presentamos una tabla con los valores a graficar:

Auto	Tiempo de carrera	Rapidez media
Porsche 911	0,6h	166,67km/h
Ford T	2,5h	40,00km/h
Torino 380W	0,85h	117,65km/h
Ferrari 308GTB	0,7h	142,86km/h
DKW	1,5h	66,67km/h
Fiat 125	1,2h	83,33km/h
Dodge GTX	0,8h	125,00km/h
Fiat 600	1,8h	55,56km/h

El gráfico obtenido es:



La curva que se obtiene al graficar se denomina **hipérbola**. En ella se puede observar que cuando la rapidez media tiene valores altos, los intervalos de tiempo son pequeños y, a medida que disminuye el valor de la rapidez, aumenta el intervalo de tiempo.

En símbolos, esto se puede escribir del siguiente modo:  $v \propto \frac{1}{t}$  (donde  $t$  es el intervalo de tiempo). Esto se puede leer como: “ $v$  es **directamente proporcional** a  $\frac{1}{t}$ ” o “ $v$  es **inversamente proporcional** a  $t$ ”.

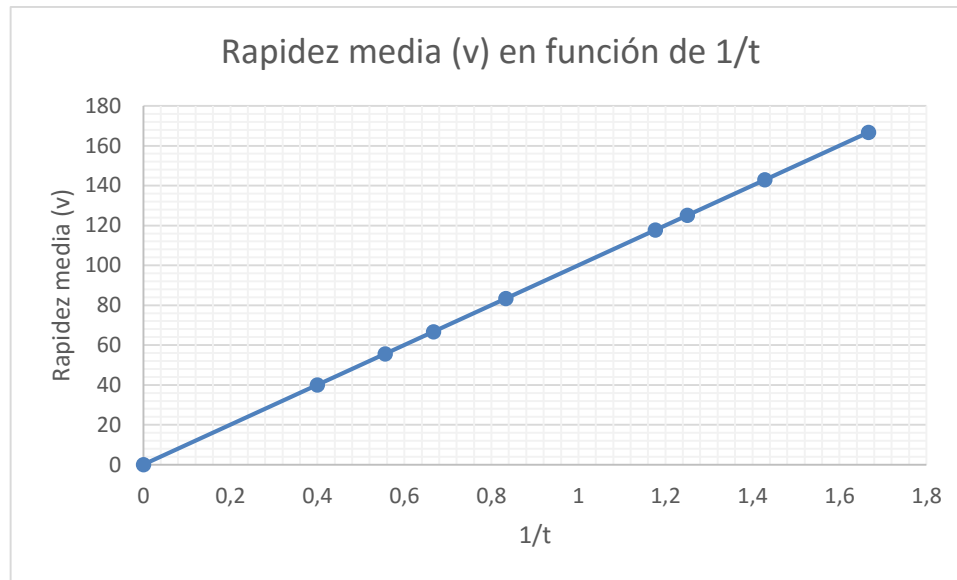
Como mencionamos antes, la constante de proporcionalidad entre estas dos magnitudes es la distancia recorrida, que en el ejemplo es 100km por lo que podemos escribir:  $v = d \times \frac{1}{t}$  o, lo que es igual:  $t \times v = d$  (donde  $d$  es la distancia recorrida).

Para corroborar esto, podemos realizar el producto entre la rapidez media y el tiempo de carrera de cualquiera de los automóviles del ejemplo y obtendremos como resultado dicha distancia.

De estas últimas expresiones podemos concluir que, si realizamos un gráfico de  $v$  en función de  $\frac{1}{t}$  debemos obtener una recta que pasa por el origen y cuya pendiente es positiva e igual a la distancia recorrida. A continuación presentamos dicho gráfico acompañado de la tabla:

Auto	$t$ (h)	$1/t$ (1/h)	$v$ (km/h)
Porsche 911	0,60	1,67	166,67
Ford T	2,50	0,40	40,00
Torino 380W	0,85	1,18	117,65
Ferrari 308GTB	0,70	1,43	142,86

DKW	1,50	0,67	66,67
Fiat 125	1,20	0,83	83,33
Dodge GTX	0,80	1,25	125,00
Fiat 600	1,80	0,56	55,56



La pendiente de la recta resultante puede calcularse haciendo el cociente entre el valor de ordenada y el de abscisa de un punto cualquiera (en este caso porque la recta pasa por el origen). Por ello, veamos qué resultado obtenemos al hacerlo para el Ford T:

$$\text{Ordenada} = v_{\text{Ford}} = 40\text{km/h}$$

$$\text{Abscisa} = \frac{1}{t_{\text{Ford}}} = 0,4 \frac{1}{\text{h}}$$

$$\frac{\text{Ordenada}}{\text{Abscisa}} = \frac{40\text{km/h}}{0,4 \text{ 1/h}} = 100\text{km}$$

Tal como lo mencionamos, el valor obtenido es el de la constante de proporcionalidad: la distancia total recorrida.

### Actividades

- La segunda ley de Newton establece que “si una fuerza externa neta actúa sobre un cuerpo éste se acelera”. Su expresión matemática más sencilla es:

$$\vec{F}_{\text{neto}} = m\vec{a}$$

Las siguientes afirmaciones, ¿son verdaderas? ¿Por qué?

- La aceleración experimentada por un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él.

- b. Si aumenta la masa del cuerpo y se mantiene constante la fuerza neta, la aceleración será mayor.
2. La presión ejercida por una fuerza (perpendicular) sobre un determinado área se calcula haciendo:

$$p = \frac{F_{\perp}}{A}$$

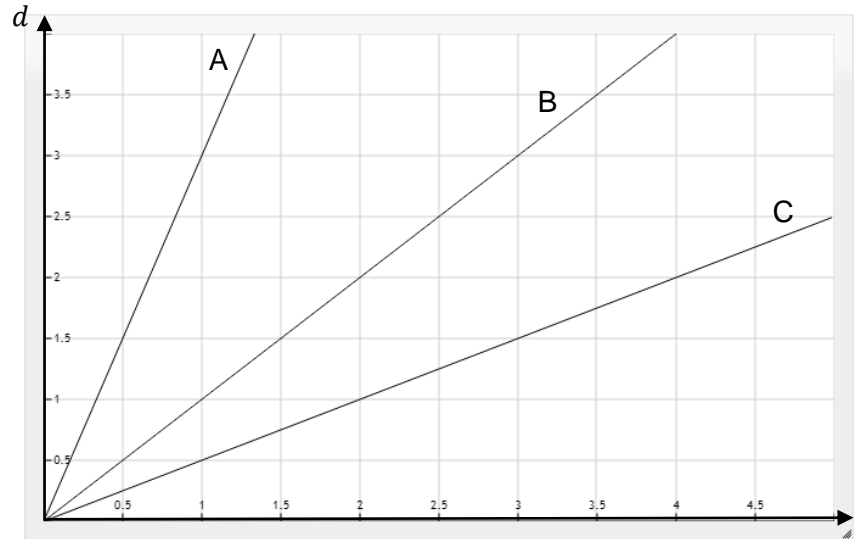
¿Qué relación de proporcionalidad existe entre la presión y la fuerza? ¿Y entre la presión y el área?

3. La energía cinética de un cuerpo es  $k = \frac{1}{2}mv^2$  donde  $m$  es la masa del cuerpo y  $v$  su rapidez. Elige un valor de masa (p. ej.: 1kg) para un cuerpo y cuatro valores distintos de rapidez (p.ej.: 10m/s, 20m/s, 30m/s y 40m/s). Calcula las energías cinéticas correspondientes y realiza un gráfico de energía cinética en función de la rapidez y otro de energía cinética en función de la rapidez al cuadrado. De acuerdo a los gráficos obtenidos responde: ¿La energía cinética es directamente proporcional a la rapidez o al cuadrado de la rapidez? ¿Por qué?
4. En la siguiente tabla se muestran las distancias recorridas ( $d$ ) por un automóvil y el consumo de combustible ( $c$ ) correspondiente a cada recorrido:

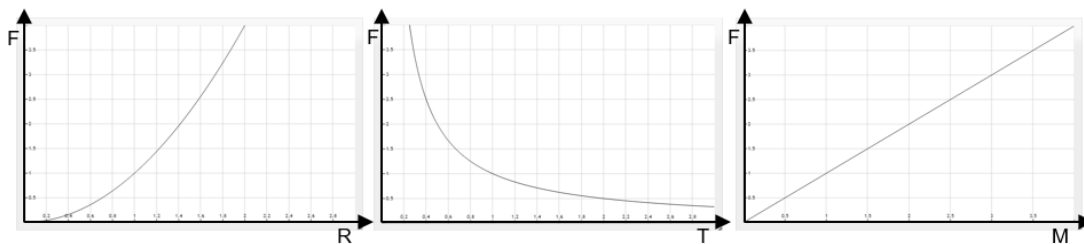
$d$ (km)	$c$ (l)
20	2,5
40	5
60	7,5
80	10

- a. Realiza un gráfico de  $d$  en función de  $c$
- b. ¿Qué relación existe entre dichas variables?
- c. Utilizando el gráfico responde ¿cuál es el consumo del auto cada 100km?
5. En el gráfico a continuación se muestran las curvas de distancia en función del consumo de combustible de tres automóviles A, B y C. ¿Cuál es más económico? ¿Por qué?





6. Una persona, al realizar una experiencia de laboratorio comprobó que cierta magnitud  $F$  es función de otras tres  $m$ ,  $r$  y  $t$ . Sus mediciones le permitieron trazar los siguientes gráficos:



Observando los gráficos indica cuál de las siguientes relaciones puede describir el resultado de las experiencias:

- $F \propto \frac{MR^2}{T}$
- $F \propto \frac{MT}{R}$
- $F \propto MRT$
- $F \propto RT/M$

### Autoevaluación IV

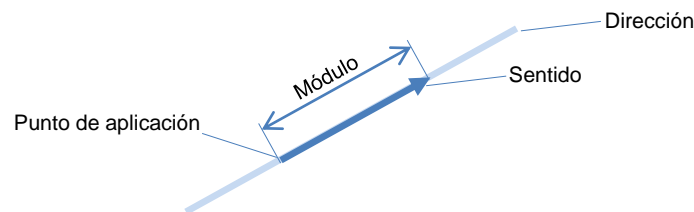
- Supone que vas a comprar distintas frutas y verduras. ¿Qué relación de proporcionalidad existe entre el precio total de tu compra y los kilogramos que compres?
- En invierno, el consumo de gas en nuestros hogares suele aumentar debido al uso de calefactores. ¿Podríamos decir que el consumo de gas es función de la temperatura exterior? En rasgos generales ¿Crees que sería directa o inversamente proporcional a ésta?

3. Siguiendo el razonamiento del ejemplo anterior, el consumo de electricidad comúnmente aumenta en verano debido al uso de aires acondicionados. En este caso ¿cómo podría ser la relación de proporcionalidad entre el consumo y la temperatura exterior?

**Nota: la respuesta a los problemas de autoevaluación se encuentra al final del dossier.**

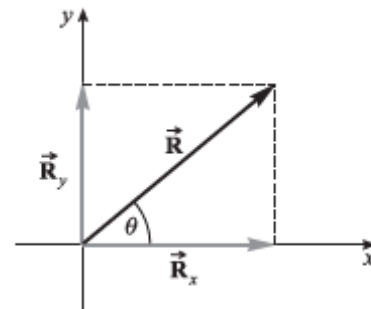
## Vectores

Como vimos anteriormente, algunas magnitudes físicas necesitan ser representadas por vectores para estar perfectamente definidas. Un **vector** es un segmento orientado (“flecha”) en el que podemos distinguir **magnitud** (módulo), **punto de aplicación**, **dirección** y **sentido**. La magnitud está dada por la longitud del vector. La dirección por la recta y el sentido por el extremo de la “flecha”.



## Operaciones con magnitudes vectoriales

Cuando queremos sumar o restar magnitudes vectoriales no podemos hacerlo de la misma forma en que lo haríamos con las escalares. Para sumar vectores no sólo se debe tener en cuenta su magnitud sino también su dirección y sentido. Es por esto que existen métodos gráficos y analíticos que permiten la realización de dichas operaciones. A en este curso nos centraremos en el método analítico. Éste se basa en que todos los vectores pueden representarse en un sistema de ejes cartesianos y descomponerse en dos vectores cuyas direcciones coincidan con dichos ejes. En la figura vemos una representación de ello



(Imagen: Bueche, Frederick J. y Hecht, Eugene. “Física General”. Décima edición. Ed. Mc Graw Hill, México 2007)

El vector  $\vec{R}$  puede descomponerse en los vectores  $\vec{R}_x$  y  $\vec{R}_y$  que son perpendiculares entre sí. Esta característica nos permite relacionar el vector inicial y sus dos componentes mediante las funciones trigonométricas y el teorema de Pitágoras.

Las funciones trigonométricas son muy utilizadas en física y tienen validez para cualquier triángulo que tenga un ángulo de 90° (rectángulo).

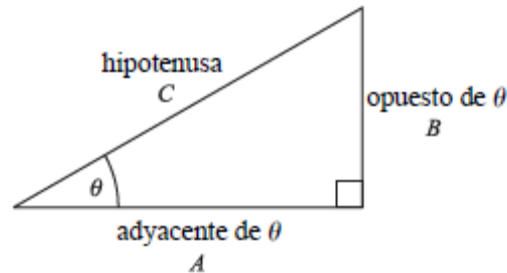


Imagen: Bueche, Frederick J. y Hecht, Eugene. "Física General". Décima edición. Ed. Mc Graw Hill, México 2007.

Dichas funciones son las siguientes:

$$\text{sen } \theta = \frac{\text{opuesto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{B}{C} \quad \text{cos } \theta = \frac{\text{adyacente}}{\text{hipotenusa}} = \frac{A}{C} \quad \text{tan } \theta = \frac{\text{opuesto}}{\text{adyacente}} = \frac{B}{A}$$

Al observar la imagen de las componentes del vector, podemos ver que colocando la componente  $\vec{R}_y$  en la posición del lado opuesto, formamos un triángulo rectángulo que nos permite relacionar las dos componentes y el vector mediante las funciones trigonométricas. De dicha relación obtenemos que:

$$\vec{R}_x = \vec{R} \cos \theta \quad \vec{R}_y = \vec{R} \text{sen } \theta$$

Por último, por teorema de Pitágoras sabemos que, en un triángulo rectángulo, las longitudes de la hipotenusa y los catetos se encuentran relacionadas del siguiente modo:

$$C^2 = A^2 + B^2$$

Mediante el uso de las funciones trigonométricas y del teorema de Pitágoras podemos realizar la suma analítica de vectores del siguiente modo:

1. Representamos los vectores en los ejes cartesianos haciendo coincidir el origen de los mismos con el punto en común de los vectores a sumar.
2. Descomponemos cada vector en sus dos componentes.
3. Sumamos (o restamos) los módulos de todas las componentes x por un lado y los de las componentes y por otro. Es importante tener en cuenta el sentido (signo) de las componentes. Se pueden sumar sólo sus módulos porque tienen igual dirección.

Al realizar la suma de las componentes por separado estamos hallando los módulos de las componentes de la resultante ( $R_x$  y  $R_y$ )

- Para obtener el valor del módulo del vector resultante aplicamos el teorema de Pitágoras:

$$R = \sqrt{(R_x)^2 + (R_y)^2}$$

- Para obtener la dirección del vector resultante utilizamos la función tangente:

$$\tan \theta = \frac{\text{opuesto}}{\text{adyacente}} = \frac{R_y}{R_x}$$

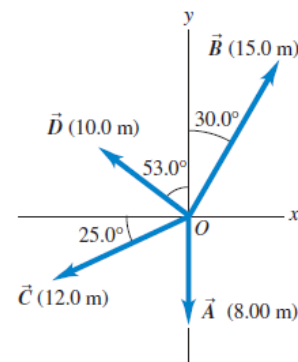
De esta forma obtenemos la tangente del ángulo que forma el vector resultante con el eje de abscisas (x).

- Para expresar correctamente el resultado obtenido debemos decir: “el vector resultante tiene un módulo  $R$  y una dirección  $\theta$  respecto del eje x”

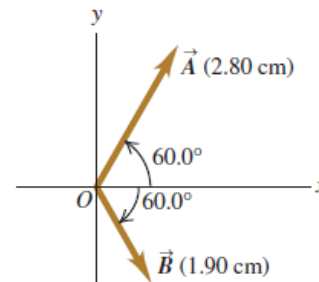
### Actividades

- Una persona conduce su automóvil y viaja 3,25km al norte, 4,75km al oeste y 1,5km al sur. Calcule la magnitud y dirección del desplazamiento resultante.
- Un cohete enciende dos motores simultáneamente. Uno produce un empuje de 725N directamente hacia adelante. El otro da un empuje de 513N a  $32,4^\circ$  hacia arriba de la dirección hacia adelante. Obtenga la magnitud y dirección de la fuerza resultante que estos motores ejercen sobre el cohete. (Suponga el cohete horizontal)
- Utilizando los vectores presentados en la imagen:

- Halle las componentes en x e y de cada uno de ellos y grafíquelas.
- Calcule el módulo y dirección de la resultante de la suma de todos ellos. Grafique el resultado.



4. Suponga que los dos vectores de la imagen representan fuerzas aplicadas sobre un cuerpo que deseamos que no se mueva. Para que esto suceda, la suma de las fuerzas aplicadas sobre él debe ser cero. Halle un tercer vector que produzca una resultante nula (igual a cero) sobre el cuerpo. De esta forma el cuerpo no se moverá.



*Las imágenes de esta actividad fueron extraídas del libro: Young, Hugh D. y Freedman, Roger A. "Física Universitaria volumen 1". Decimotercera edición. Ed. Pearson, México 2013.*

### Autoevaluación V

- Dos vectores  $\vec{A}$  y  $\vec{B}$  tienen magnitudes (módulo)  $A = 3\text{ cm}$  y  $B = 4\text{ cm}$ . ¿Cuál de los siguientes podría ser el resultado de su suma ( $A+B$ )?
  - 7cm
  - 1cm
  - 10cm
  - 7cm
  - 1cm
  - 8cm
- Ordena los siguientes vectores de mayor a menor según su magnitud (módulo). Se indican sus componentes de la forma  $(x; y)$ 
  - $(8\text{ cm}; -2\text{ cm})$
  - $(3\text{ cm}; 4\text{ cm})$
  - $(-1\text{ cm}; 6\text{ cm})$
  - $(0; -4\text{ cm})$

**Nota: la respuesta a los problemas de autoevaluación se encuentra al final del dossier.**

## Respuestas a los problemas de autoevaluación

### Autoevaluación I

1. Sólo la (b) es una hipótesis científica ya que es posible realizar experiencias que demuestren su veracidad o falsedad. De hecho se ha demostrado que esto no es así, o sea, la velocidad con que caen los cuerpos es independiente de su masa. En el caso de la opción (a), en la misma se afirma que el fluido del que se trata es imposible de detectar por lo que la ciencia nunca podrá verificar o refutar dicha afirmación y por ello, su rigor científico es nulo. En cuanto a la opción (c), es simplemente una afirmación subjetiva que depende de los intereses de cada persona por lo que no tiene ninguna relación con el conocimiento científico.
2. Sólo unos pocos experimentos correctos pueden refutar una teoría, sin embargo, se necesita una gran cantidad de experiencias que la avalen para que la comunidad científica la acepte como válida. Como se mencionó en distintas oportunidades, las distintas teorías son más confiables para la comunidad científica cuanto mayor cantidad de intentos de refutación resisten.

### Autoevaluación II

1. No, no es correcto ya que, al realizar el producto propuesto, el resultado tiene unidades de longitud (p.ej.: metro) no de superficie. La fórmula correcta para calcular la superficie de un círculo es  $S = \pi \times r^2$  que, como vemos, arroja unidades de área (p.ej.:  $m^2$ )
2. Los valores que corresponden con la densidad del hierro son (b), (e) y (f)

$$\text{densidad del hierro} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \rho_{Fe} = \frac{1.170g}{150cm^3} = 7,8 \frac{g}{cm^3}$$

3. Un metro cúbico equivale a 1.000 litros. Un cubo de  $1m^3$  tiene tres lados de  $1m = 100cm$  y, por lo tanto, un volumen en centímetros cúbicos de  $100cm \times 100cm \times 100cm = 1 \times 10^6 cm^3$ . Si  $1.000cm^3$  es un litro, entonces:

$$1m^3 = 1 \times 10^6 cm^3 \times \frac{1l}{1.000cm^3} = 1.000l$$

### Autoevaluación III

1. Las hojas tienen un espesor menor a 1mm, por lo tanto, no sería preciso medirlo directamente con una regla ordinaria. Sin embargo, si tomamos varias hojas, podríamos medir el espesor del conjunto y obtendríamos un valor (por ejemplo 50mm) que puede ser medido de forma precisa con la regla. El valor del espesor de una hoja lo podemos obtener dividiendo el valor medido por la cantidad de hojas. De esta forma, aunque no contamos con un instrumento preciso para la medición que queremos realizar, podemos obtener buenos valores aplicando un procedimiento de medición indirecta.

### Autoevaluación IV

1. El precio de la compra será mayor cuanto más cantidad de kilogramos de frutas compremos, por lo que, podríamos decir que la proporcionalidad entre estas magnitudes es directa.

2. Podríamos decir que el consumo de gas es función de la temperatura exterior porque cuando esta se modifica, el primero también lo hace. Por otra parte, la proporcionalidad entre ambas magnitudes sería inversa ya que cuando desciende la temperatura aumenta el consumo de gas.
3. En este caso, el consumo de electricidad aumentaría junto con la temperatura, ya que un día más “caluroso” mantendríamos encendidos los equipos de aire acondicionado más tiempo (mayor consumo) que un día más “fresco”. Por ello, podríamos decir que la relación entre estas magnitudes es directamente proporcional.

### Autoevaluación V

1. La suma de los vectores podría arrojar los resultados: (a), (b), (d) y (e). No hay combinación que permita los resultados (c) y (f).
2. (a), (c), (b), (d).