

# Principios matemáticos de la filosofía natural



Isaac Newton · 1687

Audiolecciones ilustradas

**Lecturized**

# **Principios matemáticos de la filosofía natural**

Audiolecciones ilustradas

Isaac Newton · 1687

Contado como lecciones ilustradas por Lecturized  
[lecturized.com](https://lecturized.com)

Del original: The Mathematical Principles of Natural Philosophy, translated by Andrew  
Motte (first American edition, 1846)

# Índice

Lo que Newton necesitaba antes de sus leyes

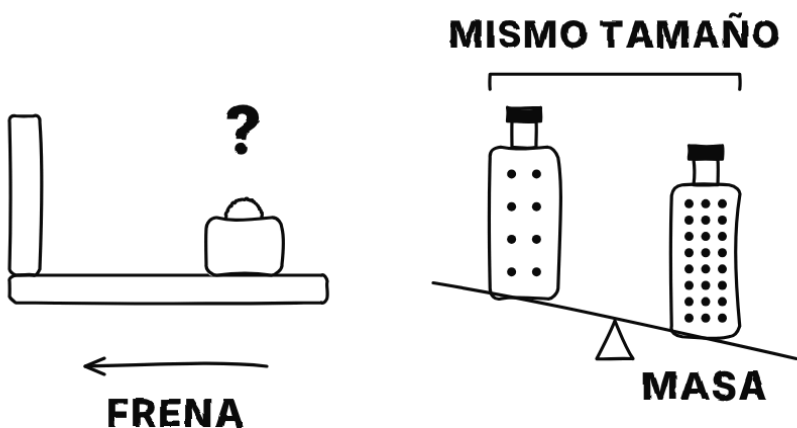
Medir tirones, y el mundo detrás del reloj

Cómo saber que algo se mueve de verdad

Para qué escribió Newton el libro

# Lo que Newton necesitaba antes de sus leyes

Frene en seco en un coche y una bolsa suelta en el asiento se desliza hacia delante, aunque nada la empujó. ¿Por qué lo hace, y qué es exactamente lo que se deslizó? El gran libro de Newton empieza respondiendo a preguntas así de sencillas, porque sin respuestas claras ni siquiera podrían enunciarse sus leyes del movimiento. Así que, antes de cualquier ley, escribe definiciones: qué es la materia, qué es el movimiento, qué es una fuerza.



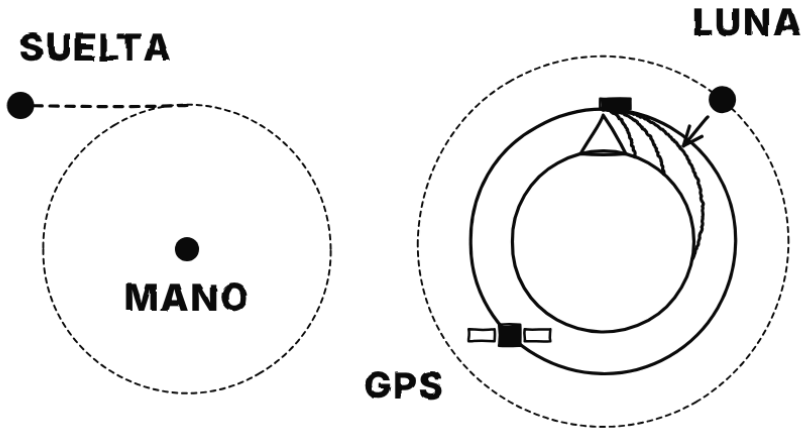
La primera idea es la cantidad de materia, que él llama masa. No es el tamaño de una cosa, sino cuánta materia contiene: lo apretada que está esa materia, junto con cuánto sitio ocupa. Una botella rígida inflada a fondo y otra dejada a presión normal tienen el mismo tamaño, pero contienen cantidades muy distintas. Newton también descubrió, con cuidadosos experimentos con péndulos, que la masa siempre va de la mano del peso. Por eso la báscula de su baño puede mostrar honradamente su masa en kilogramos.

La segunda idea es la cantidad de movimiento, lo que hoy llamamos momento lineal: la materia y la velocidad tomadas juntas. El doble de materia a la misma velocidad es el doble de movimiento, y más velocidad añade más. Una furgoneta cargada necesita mucha más carretera para detenerse que un coche pequeño a la misma velocidad, porque lleva mucho más movimiento.

La tercera idea es la que explica la bolsa que se desliza: la materia es terca. Todo cuerpo sigue haciendo lo que ya hace, quedarse quieto o avanzar recto a ritmo constante, a menos que algo actúe sobre él. Newton lo llama fuerza de inactividad, y nuestra palabra inercia viene de su nombre en latín. Una fuerza, a su vez, es solo la acción que cambia lo que hace un cuerpo, y dura solo mientras actúa. La bolsa se deslizó porque al coche se le obligó a parar y a la bolsa no: la inercia, captada a la vez por los frenos y por el acelerómetro de su teléfono.

La cuarta idea es la fuerza de la que trata todo el libro: un tirón hacia un centro, que él llama centrípeto. La gravedad, el magnetismo y lo que sea que sostiene a los planetas en sus caminos curvos son todos de este tipo. Una piedra en una honda tira para escapar y la honda la retiene; una bala de cañón disparada lo bastante rápido desde una montaña caería alrededor de la Tierra para siempre en vez de

aterrizar; y la Luna se mantiene en su camino por un tirón de la fuerza justa. Cada satélite GPS que pasa por encima es esa bala de cañón, cayendo alrededor de la Tierra sin llegar nunca a ella.



Atraído hacia un centro

De estas pocas ideas se sigue el resto del libro. Su tarea, dice Newton, es hallar el tirón a partir del camino que sigue un cuerpo, y el camino a partir del tirón que siente. También empieza a medir los tirones de dos maneras, por la fuerza de su fuente y por lo rápido que aceleran las cosas, y señala que a la misma distancia de la Tierra la gravedad acelera todo por igual, pesado o ligero. Esta parte deja fuera sus cifras de ejemplo, como la bala que llega a dos millas y luego diez veces más lejos, y los detalles finos de sus medidas de la fuerza, que recorren las versiones más detalladas de este capítulo.

### **Para recordar**

Newton empieza con definiciones porque las leyes del movimiento necesitan palabras claras para la materia, el movimiento y la fuerza. La masa es cuánta materia contiene un cuerpo, y coincide con el peso; el momento lineal es la materia y la velocidad juntas. La inercia es la terquedad de la materia, y una fuerza es solo la acción que la cambia. Un tirón hacia un centro convierte el movimiento recto en una órbita, y así se mantienen arriba la Luna y cada satélite; hallar caminos a partir de tirones y tirones a partir de caminos es el trabajo de todo el libro.

---

## **Preguntas**

1. ¿Por qué una bolsa suelta se desliza hacia delante cuando un coche frena en seco?
  - a. Algo en el coche la empuja hacia delante
  - b. Sigue moviéndose mientras al coche se le obliga a parar
  - c. La gravedad la atrae hacia delante
  - d. Los frenos le dan velocidad extra
2. ¿Qué mide la cantidad de materia de Newton, la masa?
  - a. Lo grande que es una cosa
  - b. Lo rápido que se mueve
  - c. Cuánta materia contiene, apretamiento y sitio juntos
  - d. Lo fuerte que aprieta contra el suelo a cualquier altura

3. ¿Qué le hace un tirón hacia un centro a un cuerpo en movimiento?
- a. Convierte el movimiento recto en una órbita
  - b. Detiene el cuerpo en el centro de inmediato
  - c. Hace que el cuerpo se mueva en línea recta
  - d. Cambia la masa del cuerpo

## Respuestas

1. **b)** La bolsa se deslizó porque al coche se le obligó a parar y a la bolsa no: la materia es terca y sigue haciendo lo que ya hace.
2. **c)** La masa no es el tamaño de una cosa sino cuánta materia contiene: lo apretada que está esa materia, junto con cuánto sitio ocupa.
3. **a)** Un tirón hacia un centro convierte el movimiento recto en una órbita, y así se mantienen arriba la Luna y cada satélite.

## Ejercicios

1. Explique con sus propias palabras por qué Newton escribió definiciones antes de cualquier ley del movimiento.

**Pista:** Piense en de qué tiene que hablar una ley del movimiento.

**Respuesta:** Una ley del movimiento habla de materia, movimiento y fuerza, así que esas palabras necesitan primero un significado claro. Newton las fija en sus definiciones: la masa es cuánta materia contiene un cuerpo, el momento lineal es la materia y la velocidad juntas, la inercia es la terquedad de la materia, y una fuerza es la acción que cambia lo que hace un cuerpo.

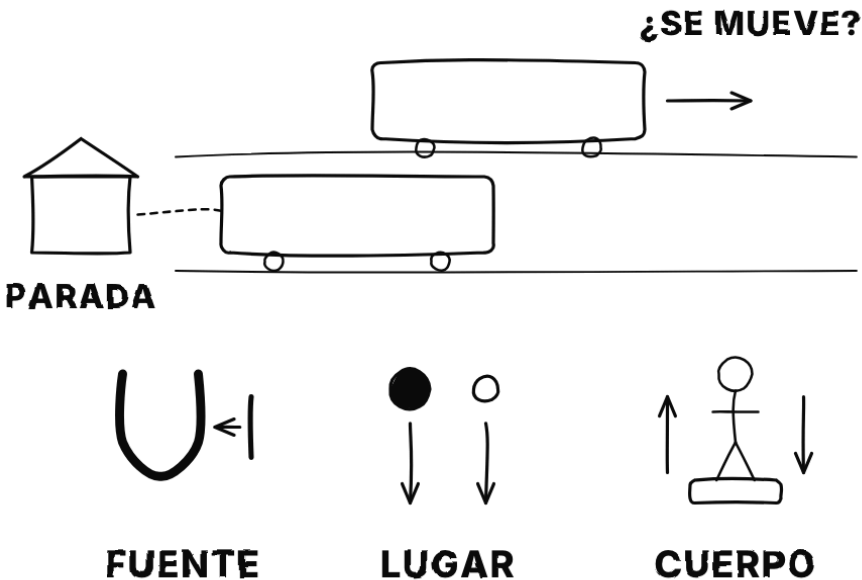
2. ¿Por qué una furgoneta cargada necesita más carretera para detenerse que un coche pequeño a la misma velocidad?

**Pista:** Use la cantidad de movimiento: ¿qué entra en ella?

**Respuesta:** La cantidad de movimiento cuenta la materia y la velocidad juntas. A la misma velocidad, la furgoneta cargada tiene mucha más materia, así que lleva mucho más movimiento, y quitar más movimiento lleva más tiempo.

# Medir tirones, y el mundo detrás del reloj

Siéntese en un tren que espera en un andén y observe cómo arranca el tren de la vía de al lado. Por un momento está seguro de que es usted quien se mueve, hasta que mira el edificio de la estación y ve que no se ha movido en absoluto. Nuestra sensación de movimiento depende por completo de aquello con lo que nos comparamos. Este tramo del libro de Newton plantea dos preguntas: cómo medir exactamente un tirón, y qué significa que algo se mueva.

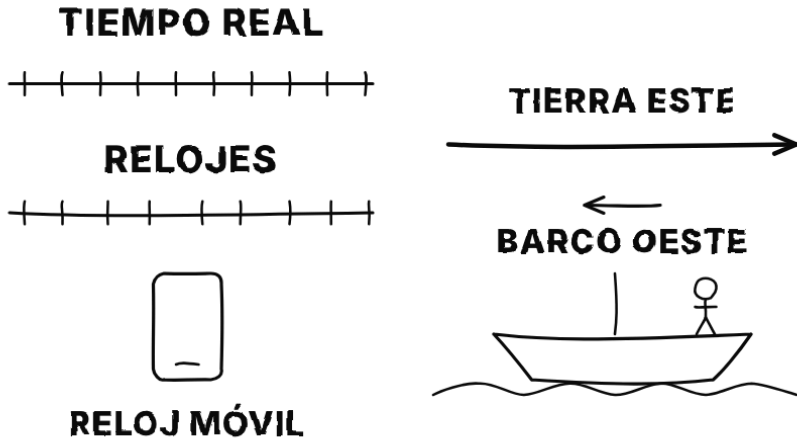


¿Quién se mueve? ¿Cuánto tira?

Sobre la primera pregunta, Newton separa tres maneras de medir el mismo tirón. Una mira la fuente, como un imán grande es más fuerte que uno pequeño. Otra mira un lugar, lo rápido que el tirón acelera las cosas allí, que es lo mismo para todo cuerpo a la misma altura sobre la Tierra. Y otra mira un cuerpo entero, cuánto movimiento le da el tirón, que es simplemente el peso del cuerpo. El peso es la aceleración aplicada a toda la materia de un cuerpo, así que cerca de la Tierra, donde la aceleración es la misma para todos, el peso simplemente sigue a la cantidad de materia. Por eso funciona una báscula de baño: empuja hacia arriba exactamente tanto como la Tierra tira de usted, y la Tierra tira igual de cada kilogramo suyo.

Newton insiste en que son solo medidas matemáticas. No pretende saber qué es realmente la gravedad ni cómo actúa a distancia, y advierte a los lectores que no lean ninguna pretensión así en sus palabras.

Sobre la segunda pregunta, se niega a definir el tiempo, el espacio, el lugar y el movimiento, que todo el mundo cree conocer, pero advierte que la gente solo los conoce a través de las cosas que ve, y eso la desorienta. Así que divide cada uno en una versión verdadera y una medida. El tiempo verdadero fluye uniformemente por sí solo; las horas y los días son solo movimientos que usamos para medirlo, y pueden ser ligeramente desiguales. El espacio verdadero nunca se mueve; los espacios que medimos, una habitación, el aire, el cielo sobre una ciudad, están fijados por cuerpos y pueden moverse con ellos. El reloj de su teléfono cuenta las vibraciones de un diminuto cristal: mide el tiempo, pero no es el tiempo mismo.



#### Verdadero y medido

La misma división se aplica al movimiento, y aquí es donde entra el tren. El movimiento verdadero es el paso de un lugar del espacio verdadero a otro; el movimiento relativo es el paso medido respecto a las cosas que nos rodean. El ejemplo de Newton es un barco: un pasajero sentado quieto en el camarote está en reposo respecto al barco, pero se mueve con él, y si la Tierra también se mueve, el movimiento verdadero del pasajero suma el de la Tierra, el del barco y el suyo propio. Un marinero que parece ir despacio a la deriva hacia el oeste comparado con la costa puede estar en realidad corriendo hacia el este por el espacio, llevado por la Tierra que gira. La velocidad que muestra su teléfono mientras camina por un tren en marcha solo se mide respecto al suelo; el enorme movimiento de la propia Tierra nunca entra en la cifra.

Lo que se sigue de todo esto es el programa del libro: medir las fuerzas con precisión y hallar los movimientos verdaderos detrás de los relativos que observamos. Esta parte deja fuera las cifras de ejemplo de Newton, como los pesos de los cuerpos donde la gravedad se reduce a la mitad y las velocidades exactas del ejemplo del barco, y sus observaciones sobre el lugar como suma de los lugares de las partes de un cuerpo; las versiones más detalladas de este capítulo las recorren.

### **Para recordar**

Un tirón puede medirse por la fuerza de su fuente, por lo rápido que acelera las cosas en un lugar o por el peso que da a un cuerpo entero. El peso es la aceleración del lugar aplicada a toda la materia de un cuerpo, así que cerca de la Tierra simplemente sigue a la cantidad de materia. Newton separa el tiempo verdadero y el espacio verdadero, que no cambian ni se mueven, de los relojes y los espacios que usamos para medirlos. Un cuerpo que reposa en un barco en movimiento, o en una Tierra en movimiento, se mueve de verdad, y hallar el movimiento verdadero detrás del movimiento relativo que vemos es la tarea que tenemos por delante.

---

## **Preguntas**

1. ¿Por qué a veces siente que su tren se mueve cuando es el tren de al lado el que arranca?

- a. Porque nuestra sensación de movimiento depende de aquello con lo que nos comparamos
  - b. Porque los trenes vibran cuando están parados
  - c. Porque la estación se mueve
  - d. Porque el tiempo verdadero se frena
2. ¿Cuál de las tres medidas de un tirón de Newton es el peso del cuerpo?
- a. La fuerza de la fuente
  - b. Lo rápido que el tirón acelera las cosas en un lugar
  - c. Cuánto movimiento da el tirón al cuerpo entero
  - d. La distancia al centro
3. Un pasajero reposa en el camarote de un barco en movimiento sobre una Tierra en movimiento. ¿Qué concluye Newton?
- a. El pasajero está de verdad en reposo
  - b. El pasajero se mueve de verdad, y participa de los movimientos del barco y de la Tierra
  - c. El pasajero solo se mueve respecto al camarote
  - d. No puede decirse nada del movimiento del pasajero

## Respuestas

- 1. a)** Nuestra sensación de movimiento depende por completo de aquello con lo que nos comparamos, y el otro tren era lo único que teníamos a la vista.
- 2. c)** Una medida mira un cuerpo entero, cuánto movimiento le da el tirón, que es simplemente el peso del cuerpo.

**3. b)** Un cuerpo que reposa en un barco en movimiento, o en una Tierra en movimiento, se mueve de verdad, y su movimiento verdadero suma el de la Tierra, el del barco y el suyo propio.

## Ejercicios

**1.** Con sus propias palabras, ¿cuál es la diferencia entre el tiempo verdadero y el tiempo que muestra su teléfono?

**Pista:** Pregúntese qué cuenta realmente el teléfono.

**Respuesta:** El tiempo verdadero fluye uniformemente por sí solo, pase lo que pase. El teléfono cuenta las vibraciones de un diminuto cristal, un movimiento, y lo usa para medir ese fluir; mide el tiempo pero no es el tiempo mismo, y cualquier medida así puede ser ligeramente desigual.

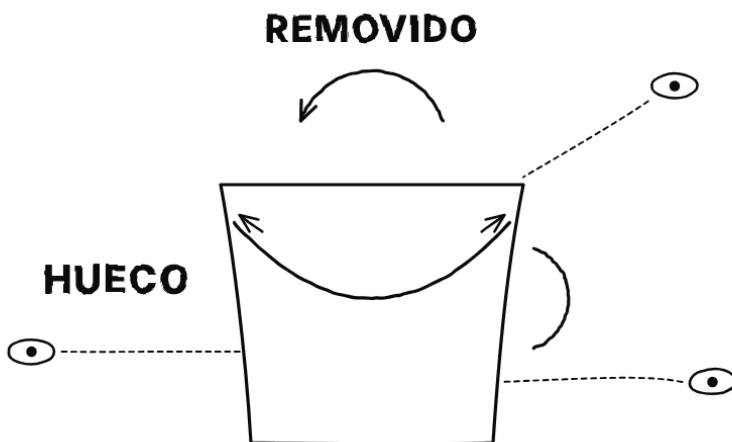
**2.** ¿Por qué dice Newton que estos tirones son solo medidas matemáticas?

**Pista:** Piense en lo que pretende y no pretende saber sobre la gravedad.

**Respuesta:** Mide los tirones por su fuente, por la aceleración que dan en un lugar y por el peso que dan a un cuerpo, pero no pretende saber qué es realmente la gravedad ni cómo actúa a distancia, así que presenta solo las medidas, no las causas físicas.

## **Cómo saber que algo se mueve de verdad**

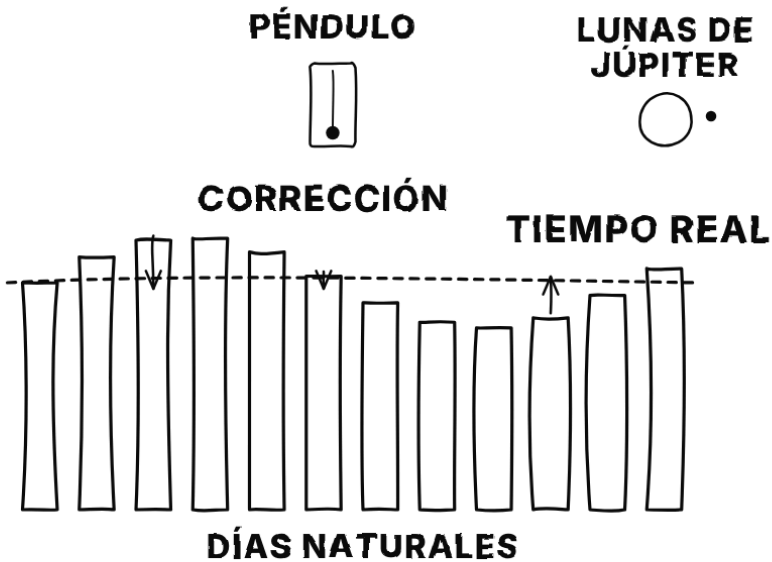
Remueva con fuerza una taza de té y saque la cucharilla. La superficie se hunde en el centro y sube en el borde. Se ve igual tanto si mira desde su silla como desde el otro lado de la habitación o desde la ventanilla de un tren que pasa. Esa superficie hundida no es cuestión de punto de vista; es un efecto real de un giro real. Este tramo del libro de Newton plantea una pregunta que suena casi imposible: si solo podemos ver las cosas moviéndose respecto a otras cosas, ¿cómo podemos saber qué se mueve de verdad? La superficie hundida de un líquido que gira resulta ser su respuesta.



Té removido

Newton empieza por el tiempo, porque el tiempo tiene el mismo problema. Medimos el tiempo por días, por el Sol que va de mediodía a mediodía, y todo el mundo trata esos días como iguales. Pero no son del todo iguales, y los astrónomos tienen que corregirlos antes de poder calcular con exactitud los movimientos de los planetas. Newton va más lejos: quizá ningún movimiento en ninguna parte sea perfectamente uniforme, de modo que ningún reloj pueda medir el tiempo con exactitud. Todo movimiento puede acelerarse o frenarse, pero el tiempo verdadero sigue fluyendo sin cambio, y las cosas duran lo mismo tanto si los movimientos a su alrededor son rápidos como lentos o no existen. Así que la duración debe mantenerse aparte de los relojes que la miden, y los astrónomos la recuperan de los días desiguales mediante su corrección, cuya necesidad muestran los

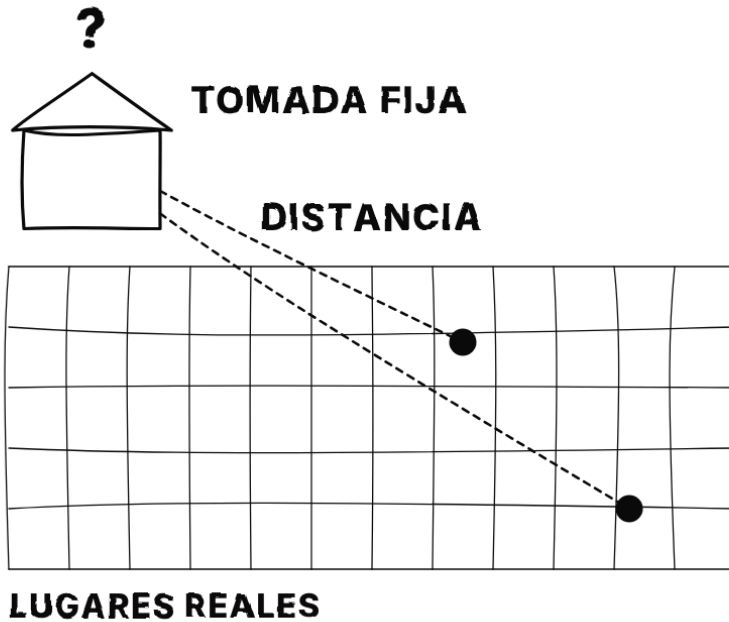
relojes de péndulo y los tiempos de las lunas de Júpiter. Un reloj de sol en un jardín se desplaza un cuarto de hora en un sentido u otro frente al reloj constante de su teléfono a lo largo del año: ese desplazamiento es justo la desigualdad a la que se refiere Newton.



Los días naturales son desiguales

Después viene el espacio. Las partes del espacio, como las del tiempo, conservan su orden para siempre; son los lugares verdaderos de todo, y pasar de una a otra es movimiento verdadero. El problema es que no podemos ver las partes del espacio ni distinguirlas. Así que en la práctica elegimos algún cuerpo que tratamos como quieto, el suelo, la costa, una estación, y medimos cada lugar y cada movimiento desde él. Para la vida corriente eso está perfectamente bien. Pero Newton advierte que, para entender la naturaleza, debemos mirar más allá de

nuestros sentidos, porque puede que no haya en ninguna parte un cuerpo de verdad en reposo desde el que medir. El mapa de su teléfono lo mide todo desde el suelo que pisa como si estuviera fijo, lo cual es exactamente lo adecuado para orientarse y no dice nada de cómo se mueve la propia Tierra.

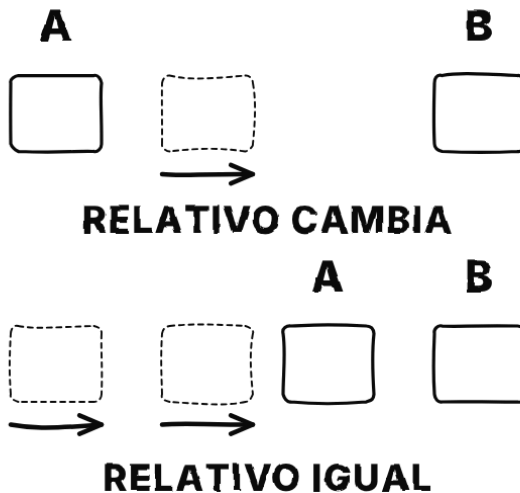


Lugares medidos desde un cuerpo

¿Cómo puede entonces reconocerse alguna vez el reposo verdadero o el movimiento verdadero? Newton promete tres tipos de pista: propiedades, causas y efectos. Las propiedades resultan decepcionantes. Las cosas de verdad en reposo se mantienen quietas unas respecto a otras, pero un cuerpo de verdad en reposo podría estar en algún lugar lejano entre las estrellas, y nada en cómo se sitúan unas respecto a otras las cosas cercanas puede decir si se

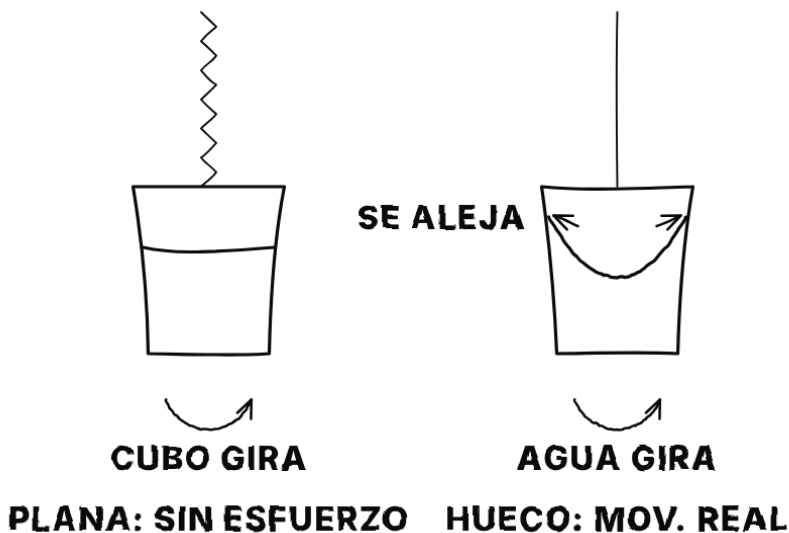
mantienen quietas respecto a él. Y las partes siempre participan del movimiento del todo al que pertenecen: si una cáscara se mueve, su almendra se mueve con ella sin salir nunca de la cáscara. Así que reposar tranquilamente entre otras cosas no prueba nada sobre el reposo verdadero. Un teléfono quieto en su bolsillo en un autobús en marcha nunca se desplaza dentro del bolsillo, pero es llevado a través de la ciudad.

Las causas ayudan más. El movimiento verdadero solo cambia cuando una fuerza actúa sobre el propio cuerpo. El movimiento relativo es distinto: puede cambiar sin ninguna fuerza sobre el cuerpo, simplemente porque se empuja lejos a las cosas con las que se compara, y puede seguir exactamente igual mientras se empuja al cuerpo, si a las cosas que lo rodean se las empuja con él. Cuando el autobús frena en seco, usted y el teléfono de su bolsillo frenan juntos, así que el teléfono no se mueve en absoluto respecto a usted, aunque su movimiento verdadero ha cambiado claramente. Así que el movimiento verdadero no puede ser lo mismo que una relación con otros cuerpos.



Empujar el otro cuerpo

Los efectos son la pista decisiva, y aquí Newton describe un experimento que hizo él mismo. Colgó un cubo de agua de una cuerda larga, retorció la cuerda muchas veces, sujetó el cubo quieto y luego lo soltó. Mientras la cuerda se desenrollaba, el cubo giraba cada vez más rápido, pero al principio el agua de dentro se mantenía perfectamente plana, aunque el cubo giraba a su alrededor. Luego, poco a poco, el agua tomó el movimiento, empezó a girar, se hundió en el centro y subió por las paredes, cada vez más alto, hasta que agua y cubo giraron juntos.



#### El cubo de Newton

Fíjese en lo que esto significa. Al principio, el agua se movía lo más rápido posible respecto al cubo, pero no mostraba ninguna señal de giro. Al final, el agua no se movía en absoluto respecto al cubo, pero subía por las paredes lo más alto. La subida, el esfuerzo hacia fuera alejándose del eje, sigue al giro verdadero del agua y no tiene nada que ver con su movimiento respecto al cubo que la rodea. Así que aquí hay un movimiento que se revela por un efecto real, sea lo que sea aquello con lo que lo comparemos.

## **Pruébelo**

Llene un tarro de cristal hasta la mitad con agua y eche unos granos de arroz. Haga girar el tarro de forma constante sobre un plato giratorio, si tiene uno, y mírelo de lado. Al principio el agua se mantiene plana mientras el tarro gira; al cabo de un rato gira junto con el tarro y su superficie se convierte en un cuenco hundido. Ha repetido el cubo de Newton: el hueco aparece con el giro propio del agua, no con su movimiento respecto al cristal.

De esto se sigue toda una manera de pensar el movimiento. Cada cuerpo que gira tiene un solo giro verdadero, con un solo esfuerzo real hacia fuera que le corresponde. Pero tiene innumerables movimientos relativos, uno por cada otro cuerpo con el que pueda compararlo, y esos movimientos relativos no tienen efectos reales propios. Newton incluso usa esto para zanjar una vieja imagen de los cielos, en la que los planetas reposan dentro de esferas de cristal que giran y los llevan consigo: esos planetas se moverían de verdad, porque cambian sus posiciones unos respecto a otros, cosa que nunca hacen las cosas de verdad en reposo, y como partes de un todo que gira se esforzarían hacia fuera de su eje como el agua del cubo. El centrifugado de una lavadora muestra cada semana el mismo esfuerzo hacia fuera, que aprieta la ropa contra el tambor mientras gira de verdad.

Esta parte deja fuera los pasos más finos del argumento de Newton, como el modo en que un movimiento verdadero se construye a partir del movimiento de un cuerpo en su lugar, del movimiento de ese lugar en su propio lugar, y así hasta el espacio inmóvil, y sus observaciones sobre por qué las partes del tiempo y del espacio nunca pueden

cambiar su orden; las versiones más detalladas de este capítulo las recorren.

### **Para recordar**

Los días y los relojes solo miden el tiempo, que fluye sin cambio, y los astrónomos corrigen los días desiguales para hallarlo.

Medimos cada lugar desde algún cuerpo que tratamos como quieto, pero las posiciones cercanas nunca pueden revelar el reposo verdadero, porque las partes participan del movimiento del todo que las rodea. El movimiento verdadero solo cambia cuando una fuerza actúa sobre el propio cuerpo, mientras que el movimiento relativo puede cambiar o seguir igual de todos modos. Un giro verdadero se delata por un efecto real, el esfuerzo hacia fuera, y por eso el agua del cubo de Newton sube por las paredes solo cuando gira de verdad. Cada cuerpo que gira tiene un movimiento verdadero con efectos reales entre innumerables movimientos relativos que no tienen ninguno.

---

## **Preguntas**

1. ¿Por qué la superficie hundida del té removido muestra un giro real y no un punto de vista?
  - a. Se ve igual desde cualquier lugar desde el que se mire
  - b. Desaparece cuando usted se cambia de silla
  - c. Solo aparece en un tren en marcha
  - d. Depende del color de la taza

2. ¿Por qué reposar tranquilamente entre otras cosas no prueba nada sobre el reposo verdadero?
  - a. Porque nada puede reposar
  - b. Porque las partes participan del movimiento del todo al que pertenecen
  - c. Porque el reposo necesita una fuerza
  - d. Porque los relojes son desiguales
3. En el cubo de Newton, ¿cuándo subió más alto el agua por las paredes?
  - a. Al principio, cuando se movía lo más rápido posible respecto al cubo
  - b. Al final, cuando no se movía en absoluto respecto al cubo
  - c. Cuando el cubo se sujetaba quieto
  - d. Nunca subió

## Respuestas

1. **a)** El hueco se ve igual desde su silla, desde el otro lado de la habitación o desde un tren que pasa; es un efecto real de un giro real, no cuestión de punto de vista.
2. **b)** Las partes siempre participan del movimiento del todo al que pertenecen, como una almendra se mueve con su cáscara, así que reposar entre otras cosas no prueba nada sobre el reposo verdadero.
3. **b)** Al final el agua no se movía en absoluto respecto al cubo, pero subía lo más alto: la subida sigue a su giro verdadero.

## Ejercicios

**1.** Con sus propias palabras, ¿por qué el movimiento verdadero no consiste en relaciones con otros cuerpos?

**Pista:** Compare lo que hace una fuerza sobre el cuerpo con su movimiento verdadero y con su movimiento relativo.

**Respuesta:** El movimiento verdadero solo cambia cuando una fuerza actúa sobre el propio cuerpo, mientras que el movimiento relativo puede cambiar sin ninguna fuerza sobre él, solo porque se mueven los cuerpos que lo rodean, y puede seguir igual cuando se le empuja junto con ellos. Como los dos pueden cambiar de forma independiente, el movimiento verdadero no puede ser una relación.

**2.** Describa lo que vería en un tarro de cristal con agua que gira, y lo que muestra.

**Pista:** Piense en el principio y el final del giro.

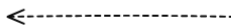
**Respuesta:** Al principio el agua se mantiene plana mientras el tarro gira a su alrededor; después gira junto con el tarro y su superficie se convierte en un cuenco hundido. El hueco aparece con el giro propio del agua, no con su movimiento respecto al cristal, igual que en el cubo de Newton.

# Para qué escribió Newton el libro

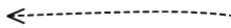
Imagine dos bolas pesadas atadas con una cuerda, girando alrededor de su centro en un cielo completamente vacío. Newton termina sus definiciones afirmando que aun así podríamos saber que giran.

## **CANTIDADES $\neq$ MEDIDAS**

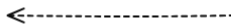
**TIEMPO**



**ESPACIO**



**LUGAR**



**MOVIMIENTO**

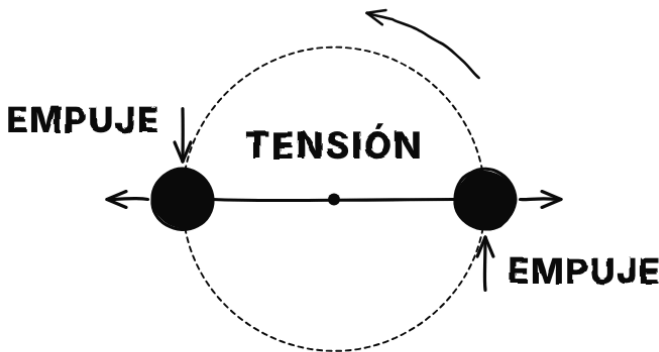


Cantidades y sus medidas

Primero aclara una cuestión de palabras. Nuestras horas, nuestros lugares medidos, nuestras velocidades respecto al suelo son solo medidas del tiempo, el espacio y el movimiento, no las cosas mismas. En la conversación cotidiana esas palabras significan las medidas, lo

cual está bien, siempre que nadie confunda una medida con la cantidad real que hay detrás.

Luego afronta la parte difícil: el movimiento verdadero nunca puede verse directamente, porque el espacio inmóvil es invisible. Pero deja pistas en los movimientos que observamos y, sobre todo, en las fuerzas. La cuerda entre las dos bolas se tensa por su esfuerzo hacia fuera, así que su tensión revela lo rápido que giran, y un empujón por lados correspondientes de las dos bolas revela en qué sentido, incluso sin nada más a la vista. El giroscopio de su teléfono funciona con este espíritu, detectando su propio giro a partir de fuerzas dentro del chip.



**ESPACIO VACÍO**

Dos globos unidos por una cuerda

Lo que sigue es todo el programa del libro: deducir los movimientos verdaderos a partir de sus causas y efectos, y deducir las causas a partir de los movimientos que vemos. Esta parte deja fuera el detalle de cómo, si se añaden cuerpos lejanos como las estrellas fijas, podría mostrarse que ellos reposan mientras las bolas se mueven, lo que explican las versiones más detalladas de este capítulo. Con la materia, el movimiento y la fuerza definidos, y el movimiento verdadero separado de la apariencia, pueden empezar las leyes del movimiento de Newton.

### **Para recordar**

Los tiempos, lugares y velocidades cotidianos son medidas, no las cantidades verdaderas mismas. El movimiento verdadero no puede verse, pero las fuerzas lo revelan, como la tensión de la cuerda revela dos bolas que giran. Hallar los movimientos verdaderos a partir de causas y efectos, y las causas a partir de los movimientos, es para lo que existe todo el libro.

---

## **Preguntas**

1. ¿Por qué el movimiento verdadero no puede verse directamente?
  - a. Porque es demasiado rápido
  - b. Porque el espacio inmóvil es invisible
  - c. Porque los relojes son desiguales
  - d. Porque solo los planetas tienen movimiento verdadero

2. ¿Qué revela la tensión de la cuerda entre dos bolas que giran?
- a. Cuánto pesa la cuerda
  - b. Lo rápido que giran las bolas
  - c. A qué distancia están las estrellas
  - d. La hora del día
3. ¿Para qué dice Newton que sirve todo el libro?
- a. Para hacer una lista de las estrellas
  - b. Para deducir los movimientos verdaderos a partir de causas y efectos, y las causas a partir de los movimientos observados
  - c. Para definir palabras para las Escrituras
  - d. Para construir mejores relojes

## Respuestas

1. **b)** El movimiento verdadero nunca puede verse directamente, porque el espacio inmóvil es invisible; deja pistas en los movimientos observados y en las fuerzas.
2. **b)** La cuerda se tensa por el esfuerzo hacia fuera de las bolas, así que su tensión revela lo rápido que giran.
3. **b)** El programa del libro es deducir los movimientos verdaderos a partir de sus causas y efectos, y las causas a partir de los movimientos que vemos.

## Ejercicios

1. Con sus propias palabras, ¿cuál es la diferencia entre una medida, como una hora, y la cantidad verdadera que mide?

**Pista:** Pregúntese de qué está hecha una hora.

**Respuesta:** Una hora es una medida hecha por algún movimiento, como los tics de un reloj o la Tierra que gira, que se usa en lugar del tiempo

mismo. El tiempo verdadero fluye por sí mismo; la hora solo lo mide, y no deben confundirse.

**2.** ¿Cómo podría mostrarse que dos bolas que giran en un cielo vacío giran de verdad, sin nada con que compararlas?

**Pista:** Piense en la cuerda que las une.

**Respuesta:** Su esfuerzo hacia fuera tensa la cuerda, así que la tensión de la cuerda muestra que giran y lo rápido que lo hacen; un empujón por lados correspondientes que tensa la cuerda muestra en qué sentido.