Proyecto: Investigar y comprender la Naturaleza

EL MOVIMIENTO DE TODAS LAS COSAS

Física y Química / 4º E.S.O.

J. Martínez Torregrosa, M. Alonso Sánchez, F. Carbonell Gisbert,
J. Carrascosa Alís, J. L. Domenech Blanco, A. Domenech Pastor,
A. Domínguez Blay, L. Osuna García, R. Verdú Carbonell.

Editorial Aguaclara

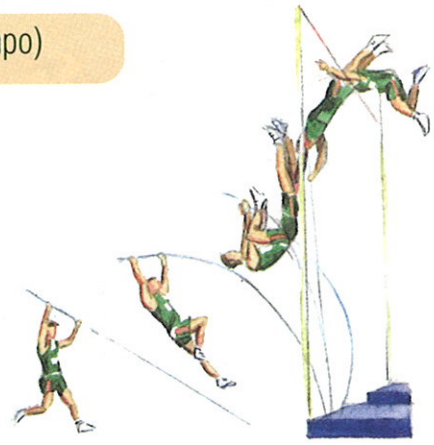
3 ¿Qué es lo que hace que un movimiento sea de un tipo u otro? ¿Cómo conseguir que cualquier objeto realice un movimiento deseado? (*Dinámica*)

Joaquín Martínez Torregrosa

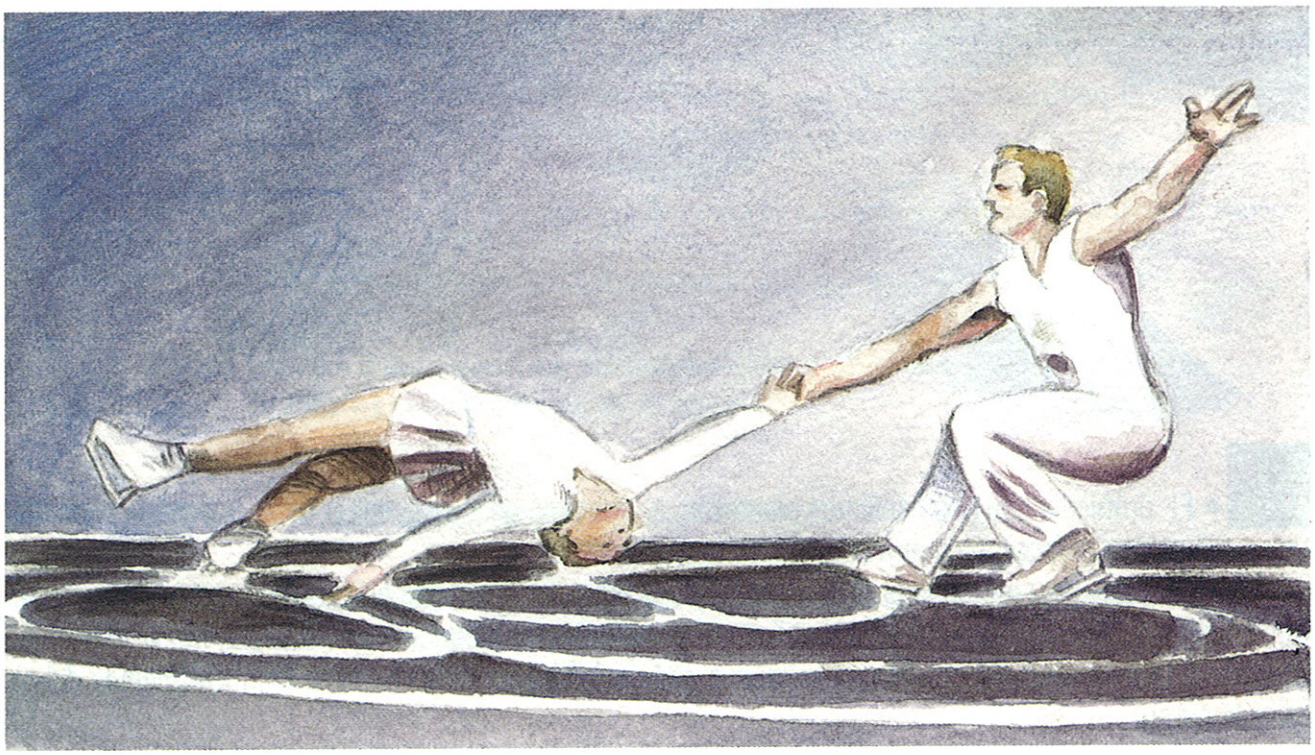
• El problema que nos habíamos planteado, al principio del curso, era el de si es posible encontrar una explicación universal a los movimientos de todas las cosas.

• Un paso muy importante, el que hemos dado hasta aquí, ha sido conseguir caracterizar cualquier movimiento y diferenciar unos de otros utilizando solamente dos magnitudes, **v** y **a**, que no se refieren en absoluto a la naturaleza del objeto que se mueve. Esto nos ha permitido clasificar los movimientos del siguiente modo:

- $\mathbf{a} = 0$
  - reposo ($\mathbf{v} = 0$)
  - rectilíneo uniforme ($\mathbf{v}$ = constante)
- $\mathbf{a} \neq 0$
  - rectilíneo uniformemente acelerado ($\mathbf{a}$ = constante; $\mathbf{v}$ y $\mathbf{a}$ con igual dirección)
  - curvilíneo ($\mathbf{v}$ y $\mathbf{a}$ forman un ángulo distinto de 0^0 o 180^0)
  - circular uniforme ($\mathbf{v}$ y $\mathbf{a}$ forman un ángulo de 90^0, y $|\mathbf{v}|$ = constante)
  - variado (más complejo) ($\mathbf{a}$ varía con el tiempo)



• Según lo anterior, el movimiento de una bola de acero, que se deja caer, es rectilíneo uniformemente acelerado; el de la Luna es circular uniforme; el de la burbuja de aire en el tubo con agua, que hemos estudiado en el capítulo anterior, es rectilíneo uniforme. Pero *¿qué es lo que hace que el movimiento de un objeto sea como es?;* ¿por qué la velocidad y aceleración de la Luna son así?; *¿por qué existen diferencias entre unos movimientos y otros?*



• En este tema vamos a tratar de solucionar el problema intentando —como es característico en la ciencia— elaborar una explicación que sirva para todos los movimientos. Si conseguimos comprender por qué los movimientos son de una forma u otra, conoceremos también *cómo conseguir que un movimiento sea como deseamos;* es decir, podremos controlar los movimientos, una cuestión de indudable interés práctico.

A.1 Pensad qué interés y utilidad puede tener controlar el movimiento de cualquier cuerpo, de modo que, por ejemplo, su movimiento sea circular, uniformemente acelerado (aumentando o disminuyendo su rapidez, con aceleración mayor o menor), uniforme..., según se desee.

Poned ejemplos concretos.

Efectivamente, existen muchas situaciones en las que nos interesa controlar el tipo de movimiento de determinados objetos. Por ejemplo: el tráfico de vehículos de todo tipo, en donde abundan las situaciones en las que es preciso cambiar la velocidad de un móvil (un coche que da una curva sin salirse de la carretera, un avión que toma tierra, un barco cuando atraca en un puerto, un vehículo que adelanta a otro o que ha de detenerse, etc.). También en muchos deportes se trata de cambiar el movimiento de un objeto para conseguir que se mueva con una cierta rapidez o que describa la trayectoria que nos interese (fútbol, baloncesto, golf, balonmano, tiro olímpico, etc.). En otros se trata de lograr que un móvil determinado alcance un cierto punto o posición en el menor tiempo posible (carreras en general). En las predicciones meteorológicas es fundamental prever el movimiento, la trayectoria y los posibles cambios que pueden experimentar las masas nubosas o fenómenos como los huracanes y tornados que con cierta frecuencia se producen en algunas zonas de la Tierra. En el lanzamiento y puesta en órbita de los satélites artificiales es necesario realizar numerosos controles y cambios en su velocidad desde el despegue hasta que se colocan en una órbita estable, etc.

• El problema planteado, y el que ya dispongamos de una clasificación de los distintos tipos de movimiento, hace que un posible índice lógico del tema sea éste:

1. Invención de posibles explicaciones sobre por qué el movimiento de un objeto es de una forma determinada.
   - 1.1 ¿Cómo conseguir que un cuerpo se mueva en línea recta con velocidad constante (M. R. U.)? ¿Y que esté en reposo? (*1er Principio de la Dinámica.*)
   - 1.2 ¿Cómo conseguir que un cuerpo tenga aceleración? ¿Qué ha de ocurrir para que sea de un tipo u otro? (*2º Principio de la Dinámica.*)
   - 1.3 ¿Pueden los cuerpos acelerarse a sí mismos? (*3er Principio de la Dinámica.*)
     - 1.3.1 ¿Qué hace falta para que actúe una fuerza sobre un cuerpo?
     - 1.3.2 La hipótesis de la gravitación universal de Newton: la llave que hace que todo encaje.
2. Puesta a prueba de la explicación inventada.
   - 2.1 Verificación experimental de la relación entre fuerza resultante y aceleración para un mismo cuerpo.
   - 2.2 Utilización de la capacidad predictiva de los «principios» para plantear y resolver situaciones de interés.
     - 2.2.1 Fuerzas sobre objetos sólidos.
   - 2.3 Análisis de situaciones cotidianas donde no parecen cumplirse los principios de Dinámica.
   - 2.4 ¿Disponemos de una explicación unitaria, universal, de los movimientos de todas las cosas?
3. Actividades complementarias.

1. INVENCIÓN DE POSIBLES EXPLICACIONES SOBRE POR QUÉ EL MOVIMIENTO DE UN OBJETO ES DE UNA FORMA DETERMINADA.

• Vamos a formular posibles explicaciones sobre las causas de que un movimiento sea de un modo u otro. Recordemos, una vez más, que en la ciencia una explicación es mejor cuanto mayor sea el número de situaciones distintas que pueden ser interpretadas con las mismas ideas o conceptos fundamentales, y, por supuesto, cuando las predicciones o consecuencias que se derivan de ella pueden contrastarse experimentalmente. Éste será un criterio que, desde el primer momento, ante la situación de elegir entre varias explicaciones posibles, guiará nuestro avance en el problema.

• *Comenzaremos con el movimiento más sencillo posible según las magnitudes introducidas en el tema anterior: el M. R. U.,* el de un cuerpo que se mueve en línea recta y con velocidad constante ($|\mathbf{a}| = 0$). Pensaremos, en principio, en objetos sólidos habituales y, para simplificar el problema, no consideraremos la posibilidad de que el objeto pueda girar sobre sí mismo o deformarse, lo que equivale a suponer que los cuerpos son como «puntos materiales».

1.1 ¿CÓMO CONSEGUIR QUE UN CUERPO SE MUEVA EN LÍNEA RECTA CON VELOCIDAD CONSTANTE (M. R. U.)? ¿Y QUE ESTÉ EN REPOSO? (Primer principio de la Dinámica.)

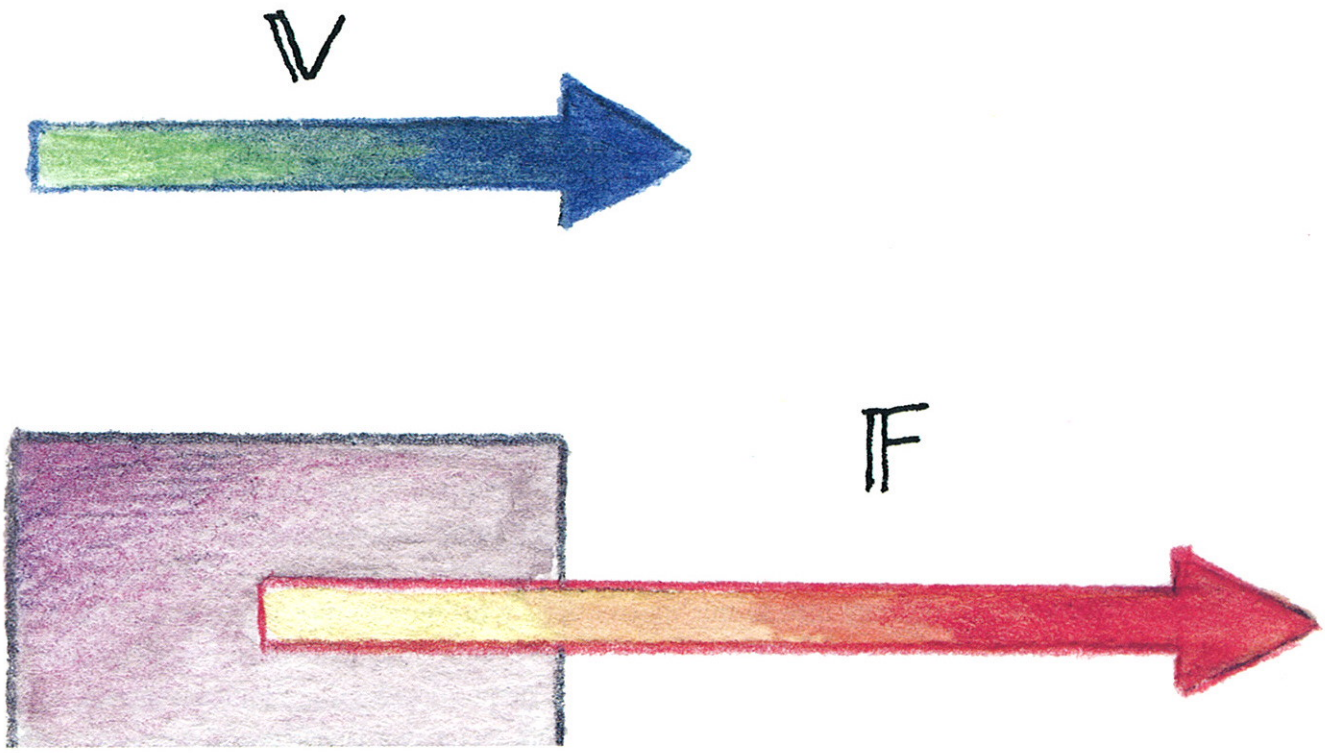
A.2 Expresad qué es necesario para que un cuerpo se mueva en línea recta con velocidad constante. Poned ejemplos que apoyen las ideas expresadas. Posteriormente, recoged tres respuestas a esta cuestión en vuestro entorno familiar, y analizad si existen coincidencias.

• La respuesta «más inmediata» a esta cuestión es que, para que un cuerpo se mueva con velocidad constante, es necesario que lo empujemos constantemente; es decir, es necesario que esté actuando sobre él una fuerza* constante (en el sentido intuitivo/muscular que todos tenemos de *fuerza*).

Los ejemplos que apoyan esta concepción son numerosos y cotidianos: desde la primera infancia hemos tenido «experiencias» con el movimiento de objetos, y sabemos que los cuerpos sólidos a los que nos hallamos acostumbrados suelen estar en reposo por lo que, para ponerlos en movimiento, debemos empujarlos o tirar de ellos con una cuerda («hacerles una fuerza»). Esta fuerza, además —«lo sabemos por experiencia»— no debe hacerse sólo para que «arranque» (en los primeros instantes hay aceleración), sino que, una vez que el cuerpo alcanza una velocidad constante, es necesario mantener la fuerza (seguir empujando o estirando del objeto), pues, si cesa, el cuerpo se para.

* Si, cuando empujamos o estiramos con una cuerda de un objeto, decimos que *estamos haciendo una fuerza sobre el objeto*, es fácil entrever que dicha fuerza tendrá naturaleza vectorial, pues no sólo podrá variar su valor, sino que podemos empujar o estirar en una dirección u otra, o en un sentido u otro.

Será posible, pues, representarla (al menos inicialmente) por una flecha orientada, como hicimos en el tema anterior con las magnitudes vectoriales.



Habitualmente se cree que hace falta ejercer una fuerza constante sobre un objeto para que esté en movimiento con velocidad constante. ¿Esto es verdad?

• Se trata, pues, de una idea «natural», que es compartida por la inmensa mayoría de las personas (¡como habrás comprobado al preguntar en tu entorno familiar!). Pero es una idea *espontánea,* fruto de experiencias cotidianas que no se han sometido mínimamente a análisis.

Para que dicha explicación sea admitida como científica debe ser puesta a prueba: ver en qué medida las consecuencias que se derivan de ella se cumplen, y si con ella se pueden explicar todos los movimientos.

• Pondremos a prueba, en primer lugar, una de las consecuencias que se deducen inmediatamente de la idea de que «para que un cuerpo se esté moviendo con velocidad constante debe estar actuando sobre él una fuerza constante»: si la fuerza es la causa de la velocidad constante, al cesar de empujar o estirar, el cuerpo se parará; y al contrario, si un cuerpo que se estaba moviendo se para, es porque ha dejado de actuar la fuerza que hacía que se moviera.

A.3 Analizad cómo podríamos conseguir que, al dejar de empujar un objeto en línea recta sobre una superficie horizontal, se detenga cada vez más lejos, o, incluso, que no se detenga.

• Una reflexión semejante a la que acabamos de hacer —que pone en cuestión la idea común de que «para que un objeto se mueva con velocidad constante, hace falta empujarlo [«hacerle una fuerza»] continuamente», se encuentra en el libro de Galileo *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo"* (1632).

A.3.1 Leed el fragmento de los *Diálogos* de Galileo, que os ofrecemos a continuación, y comparadlo con el análisis realizado en la actividad anterior.

SALVIATI: Di: si tuvieses una superficie de una sustancia tan dura como el acero y tan lisa y pulimentada como un espejo, que no fuese horizontal sino algo inclinada, y colocases sobre ella una bola de bronce perfectamente esférica, ¿qué piensas que pasaría cuando la soltases?; ¿no crees tú, como yo, que se quedaría allí?

SIMPLICIO: ¿Si la superficie estuviera inclinada?

SALVIATI: Sí, ya te lo he dicho.

SIMPLICIO: No puedo concebir que se quedase allí. Creo que tendría gran propensión a moverse según el declive.

SALVIATI: Y ¿qué longitud y con qué velocidad se movería la esfera? Pero ten en cuenta que he puesto el ejemplo de una esfera perfectamente redonda, y un plano exquisitamente pulimentado, de tal forma que haya que descartar todos los impedimentos accidentales y externos. También habría que quitar los impedimentos originados por la resistencia del aire o de cualquier otro obstáculo casual, en caso de que lo hubiera.

SIMPLICIO: Comprendo muy bien lo que quieres decir y te contesto que la esfera continuaría moviéndose «in infinitum» si el plano fuese lo suficientemente largo, y acelerándose continuamente. Tal es la naturaleza de los cuerpos pesados que adquieren fuerza con la marcha, y cuanto mayor sea la inclinación, será mayor la velocidad.

[*De manera similar Salviati obliga a Simplicio a reconocer que, si se lanza la esfera por un plano inclinado hacia arriba, irá perdiendo velocidad hasta pararse. Por último, Salviati plantea el caso intermedio, es decir, el lanzamiento de la esfera por un plano horizontal y exquisitamente pulimentado:*]

SALVIATI: Parece entonces que hasta aquí me has explicado bien lo que ocurre a un cuerpo en dos planos diferentes. Ahora, dime, ¿qué le sucedería a este mismo cuerpo sobre una superficie que no tuviese inclinación ni hacia arriba ni hacia abajo?

SIMPLICIO: Ahora debes darme algo de tiempo para pensar mi contestación. No habiendo inclinación hacia abajo, no podría tener tendencia natural al movimiento; y no habiendo inclinación hacia arriba, no podría haber resistencia a su movimiento. De donde se deduce su indiferencia tanto para la propulsión como para el retardo; por lo tanto, pienso que se quedaría naturalmente allí...

SALVIATI: Yo pienso lo mismo, con tal de que se hubiera dejado con cuidado, pero si se le hubiera dado un impulso hacia algún lado, ¿qué sucedería?

SIMPLICIO: Que se movería hacia ese lado.

SALVIATI: Pero ¿con qué clase de movimiento?, ¿continuamente acelerado, como en un plano inclinado hacia abajo, o continuamente retardado, como en un plano inclinado hacia arriba?

SIMPLICIO: No puedo descubrir ninguna causa de aceleración ni de retardo, si no hay inclinación hacia abajo ni pendiente hacia arriba.

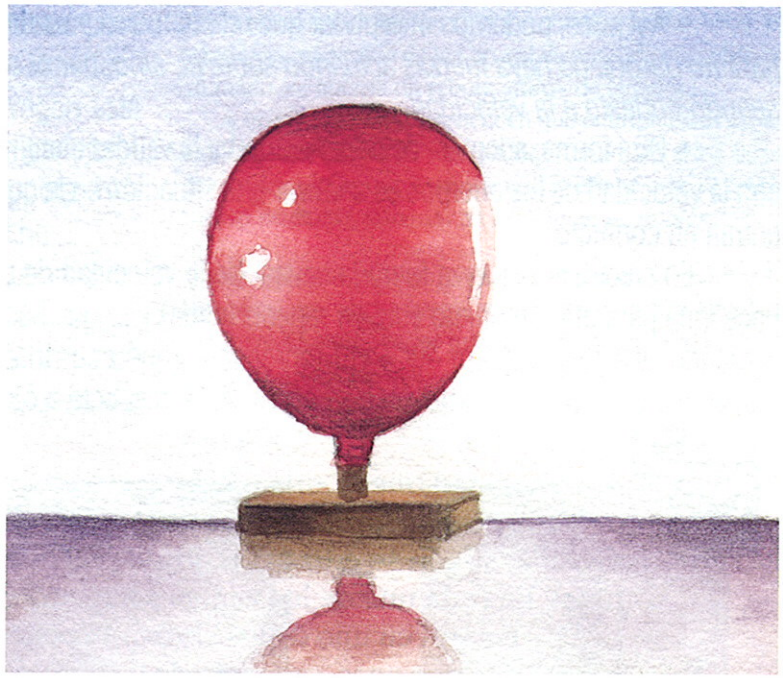
SALVIATI: Bien, si no hay causa de retardo, menos la habrá para detenerla; por tanto, ¿qué distancia recorrerá el cuerpo en movimiento?

SIMPLICIO: Pues tanta como la superficie ni inclinada ni ascendente.

SALVIATI: Por tanto, si ese espacio fuese indefinido, el movimiento sobre él no tendría fin, esto es, sería perpetuo.

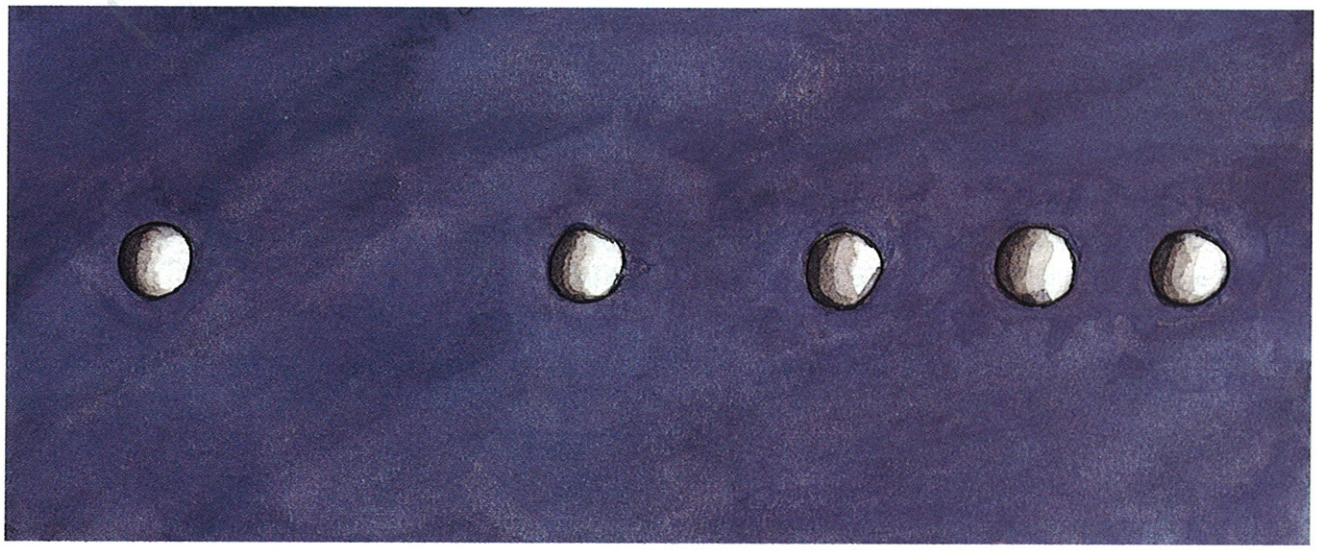
• Según acabamos de ver, la creencia de que «el cuerpo se para porque cesa la fuerza que está actuando sobre él» no se cumple: si pulimos más y más la superficie horizontal sobre la que se desplaza, a pesar de haber dejado de empujarle, el móvil recorre más y más distancia hasta parar, de modo que podemos pensar que la causa de que se pare no es que ha cesado la fuerza que lo empujaba, sino el rozamiento con el suelo. Y si imaginamos una situación donde no hubiera rozamiento, el objeto no se pararía.

• Esto, además, obliga a concebir el rozamiento entre el suelo y un objeto de un modo «especial». En una situación sin rozamiento, para que el cuerpo pare tendremos que empujarlo o estirar de él en sentido opuesto a la velocidad. Puesto que el rozamiento con el suelo produce el mismo efecto, representaremos su presencia mediante una fuerza de sentido opuesto a la velocidad. De hecho, si viéramos solamente el objeto luminoso dentro de una oscuridad total no podríamos distinguir si se para debido a que se está tirando de él con una cuerda o debido al rozamiento con el suelo. Hablaremos, pues, a partir de ahora de *fuerza de rozamiento* *.



En la práctica existen «bancos de aire» donde se consigue un rozamiento prácticamente nulo.
El objeto de la figura, mientras sale el aire del globo, está sobre un «colchón de aire» con un rozamiento muy pequeño

* Existe una tendencia en las personas a considerar que sólo los seres vivos pueden ejercer fuerzas sobre los objetos. Así, cuando dejamos de empujar un cuerpo sobre el suelo, pensamos que no actúa fuerza alguna sobre él. Admitir la posibilidad de que el suelo pueda ejercer fuerzas sobre un objeto, al igual que puede hacerlo un ser vivo, es una superación —si se confirma dicha posibilidad— de una barrera.



• Así pues, podemos interpretar que un cuerpo se pare después de dejar de empujarle diciendo que *se para no porque no haya fuerzas actuando sobre él, sino, por el contrario, porque está actuando una fuerza en sentido opuesto a la velocidad.*

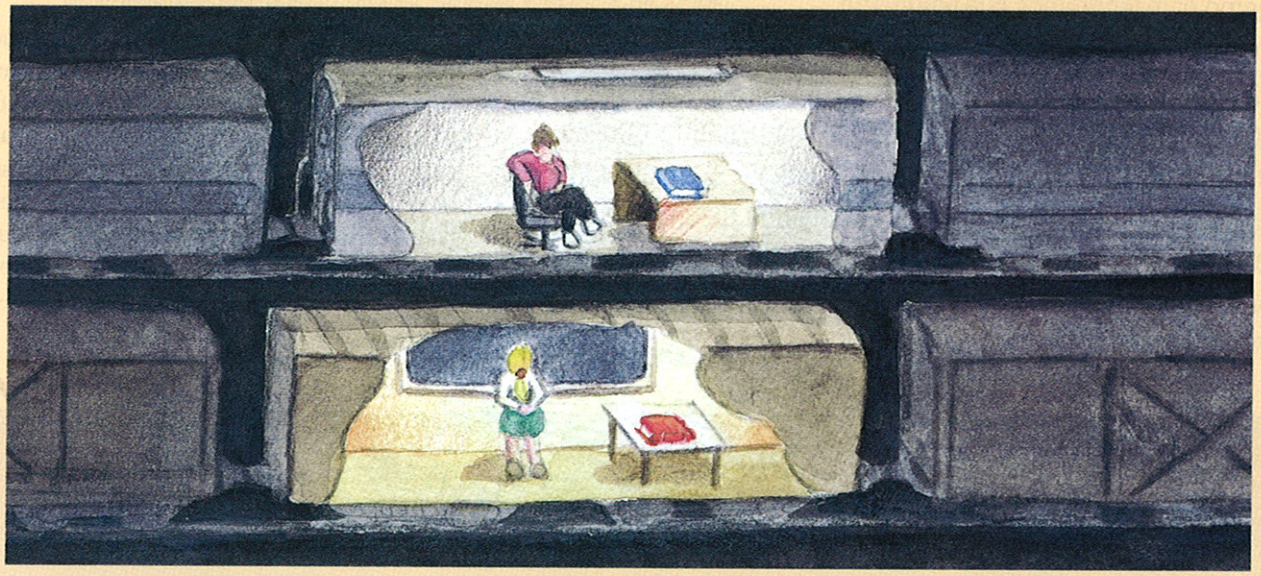
• Otra forma, además, de poner a prueba la validez científica de la idea espontánea que asocia la fuerza con la velocidad de los cuerpos es analizar una situación en la que dicha creencia conduce a predicciones que entran en conflicto.

En efecto, si la fuerza fuera la causa de la velocidad de un cuerpo, existirían diferencias entre lo que hace falta para que un objeto esté en reposo (nada) y lo que hace falta para que esté en M. R. U. (debe estar actuando una fuerza sobre él). Pero, entonces, ¿qué ocurriría con un mismo cuerpo que está en reposo respecto a un sistema de referencia, y en M. R. U. respecto a otro?.

A.4 Imaginad que el aula o habitación en que nos encontramos es el vagón de un tren que viaja siempre en línea recta, a velocidad constante, y sin traqueteos. Nuestra aula/vagón se cruza con otra de idénticas características en el interior de un túnel. En cada uno de los vagones hay una mesa, y un libro sobre ella

Pensad en uno de los libros y exponed cómo explicarían el movimiento del mismo dos personas, cada una de las cuales se encuentra en cada uno de los vagones.

Dad algún argumento que permita decidir, en caso de discrepancias, quién tiene razón.



• Un observador que mira un libro, en reposo respecto a las paredes de su vagón, diría obviamente que, puesto que está en reposo, no está actuando ninguna fuerza sobre él.

Pero un observador, que mira el mismo libro desde el otro vagón, diría que, como se mueve con velocidad constante, debe de estar actuando una fuerza sobre él en la misma dirección y sentido de la velocidad.

¿Puede ser que se le esté empujando —o no— al mismo objeto, según el observador?, ¿cuál de los dos tiene razón?

• Si uno de los observadores pudiera decidir que él está *realmente* en reposo y el otro no, podría defender que tiene razón. Pero, ¿cómo puede decidir si está en reposo?: dentro del túnel no ve más que el otro tren, y lo vería exactamente igual si estuviera parado y él moviéndose, o si la situación fuera la contraria.

Así, para demostrar que es el otro el que se mueve y no él, tendría que recurrir a realizar alguna experiencia que ocurriera de modo diferente si el vagón está parado o si está en M. R. U. Podemos pensar, por ejemplo, en lanzar una moneda al aire, hacer rebotar una pelota en la pared, colgar un péndulo del techo...

Si realizáramos esto, no notaríamos ninguna diferencia: tanto si nos encontramos en reposo como en M. R. U., la moneda lanzada verticalmente caería de nuevo en nuestra mano */ **, el péndulo colgaría del techo sin separarse de la vertical...

* No ocurriría lo mismo si el tren tuviera aceleración: el péndulo se separaría de la vertical, la moneda no caería en su mano, se notaría un rebote «raro» de la pelota...

A un sistema de referencia en que ocurren estas cosas se le llama *sistema de referencia no inercial*; a los otros (como los trenes que estamos utilizando en este «experimento mental»), *sistemas de referencia inerciales*.

** La próxima vez que viajes en tren o en coche por la autopista, aprovecha un tramo recto en el que se circule a velocidad constante (que puede ser de más de 100 km/h) y no pierdas la ocasión de poner en práctica estas experiencias (con las ventanillas cerradas, para evitar la influencia del viento).

La estudiante lanza una pelota hacia arriba mientras se desplaza en un colchón de aire.
(Se puede construir un cojín de aire según las instrucciones del anexo correspondiente que hay al final del tema.)

• Podría pensarse que, fuera del túnel, la situación cambiaría: el observador de uno de los vagones, si estuviera en reposo respecto de un punto fijo del suelo, de la tierra, sí que podría defender que él no se mueve y que, por tanto, sobre su libro no actúa fuerza alguna porque está en reposo «de verdad». Además, argumentaría que sobre el otro libro, que se mueve con **v** constante, actúa una fuerza en la dirección y sentido de **v**.

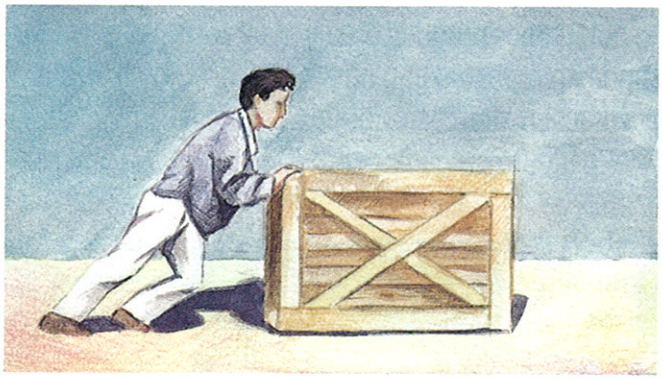
Pero eso conduce a preguntarse qué es lo que notaríamos si el suelo (el planeta Tierra) se moviera con M. R. U. La respuesta es que no habría diferencia alguna respecto a lo que pasaría si estuviera en reposo. De hecho, ¡la Tierra se mueve con una rapidez de 29'8 km/s sobre su trayectoria casi circular en torno al Sol! Y el Sol («arrastrando» a todos los planetas del sistema solar) gira en torno al centro de nuestra galaxia con una rapidez de ¡250 km/s! Nuestra galaxia se mueve respecto a otras galaxias alejándose a centenares o miles de km/s (según la galaxia en que nos fijemos).

• En definitiva, *es imposible distinguir si nos encontramos «de un modo absoluto» en reposo o moviéndonos en línea recta con* **v** *constante:* cualquier objeto que esté en reposo respecto a nosotros puede ser visto desde otro sistema de referencia con un M. R. U.; recíprocamente, un objeto, que para nosotros se mueva en línea recta con velocidad constante, podría ser considerado en reposo desde otro sistema de referencia; y *en ninguno de los dos casos se puede argumentar que un punto de vista es más válido que el otro.*

• *El único modo de que no haya una contradicción irresoluble es admitir que, para que un cuerpo esté en M. R. U., hace falta lo mismo que para que esté en reposo; es decir, nada.*

• No obstante, sabemos que, en muchas ocasiones, empujamos un objeto y éste continúa en reposo; de modo que es necesario matizar el anterior «nada».

A.5 Explicad cómo puede ser que un cuerpo continúe en reposo aunque hagamos una fuerza sobre él.

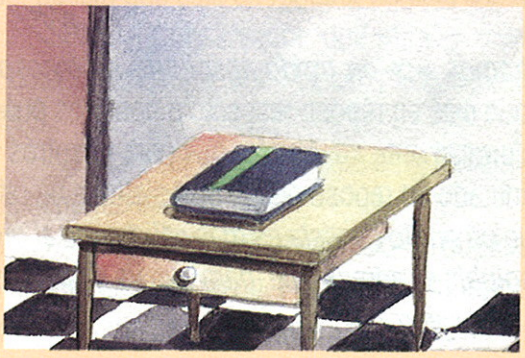


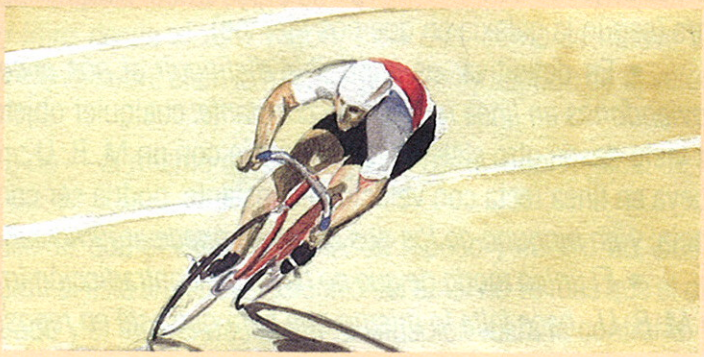
• Evidentemente, si no hubiera rozamiento con la superficie horizontal en que se encuentra el objeto (por ejemplo, una mesa, un baúl) ni contactos con otros obstáculos, el cuerpo arrancaría al empujarlo y continuaría con velocidad constante al dejar de hacerlo. En ausencia de rozamiento, en una superficie horizontal, la única explicación de que, al empujar el objeto (al hacerle una fuerza), continúe en reposo, es que haya alguien empujando con la misma fuerza en sentido opuesto. En este caso, la suma de las fuerzas que actúan sobre el objeto —es decir, la fuerza resultante—, es cero; y el cuerpo continúa como estaba: en reposo.

No es imprescindible que la fuerza en sentido opuesto a la que hacemos nosotros sea hecha por otra persona: si imaginamos, por ejemplo, una mesa luminosa en completa oscuridad, no podríamos distinguir si la fuerza la hace una persona o un obstáculo en contacto con ella. Como ya dijimos en la **A.3**, los objetos inanimados también pueden ejercer fuerzas sobre otros objetos.

A.6. Según lo dicho, indicad si en las situaciones siguientes habría fuerza resultante actuando sobre:

a) Un pasajero en el interior de un tren viajando en línea recta con una rapidez constante de 120 km/h.
b) Un ciclista que se mueve en línea recta y con velocidad constante en contra del viento y subiendo una cuesta.
c) Un cuerpo que se mueve a velocidad constante y en línea recta por el suelo del aula.
d) Un libro en reposo situado encima de la mesa.
e) Un objeto que ha sido lanzado sobre el suelo y está parándose.





A.6.1 Revisad cuál era el problema que se había planteado al principio de este apartado; y lo que se ha avanzado hasta aquí.

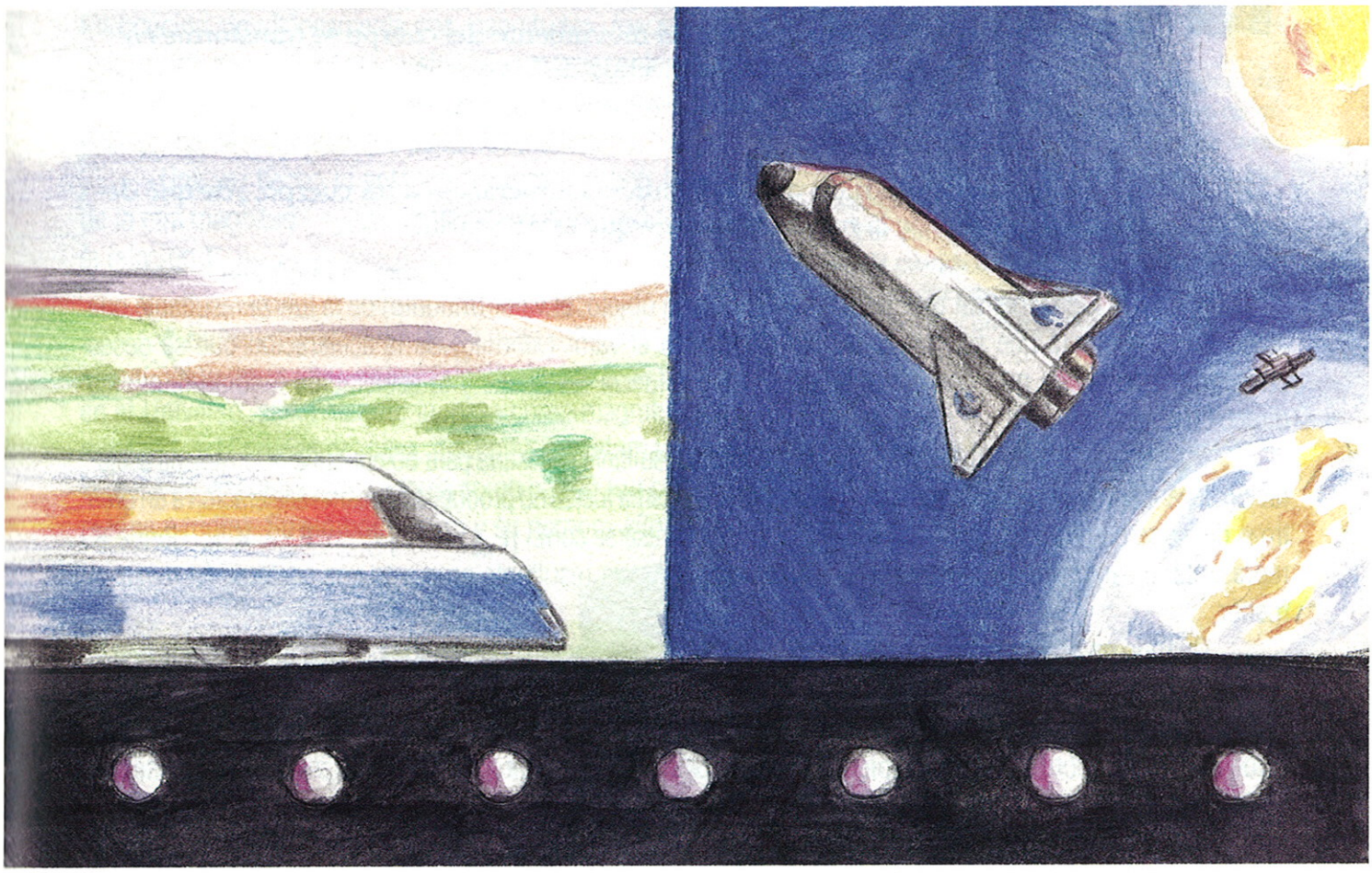
• Lo dicho hasta aquí constituye una respuesta a la pregunta sobre qué hace falta para que un cuerpo se mueva con velocidad constante; y supone una idea cualitativa de fuerza, en la que nos basaremos para continuar el estudio del problema planteado en este capítulo.

Esta idea, tan importante para explicar los movimientos, se suele expresar de distintas formas, equivalentes, y se conoce como *Principio de inercia* o *Primer principio de la Dinámica:*

SI SOBRE UN CUERPO NO ACTÚA FUERZA ALGUNA O LA RESULTANTE DE TODAS LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE ÉL ES NULA, DICHO CUERPO SE ENCONTRARÁ EN REPOSO O EN M. R. U.

SI UN CUERPO SE MUEVE EN LÍNEA RECTA, CON VELOCIDAD CONSTANTE, NO ACTÚA FUERZA RESULTANTE ALGUNA SOBRE ÉL.

UN CUERPO CONTINUARÁ EN REPOSO O CON VELOCIDAD CONSTANTE, A MENOS QUE SE EJERZA UNA FUERZA SOBRE ÉL.



Es necesario tomar conciencia de la gran diferencia que existe entre lo anterior y la idea espontánea de fuerza, que se expresó al principio.

• Como ya tenemos una hipótesis sobre qué haría falta para que el movimiento de un cuerpo fuera rectilíneo uniforme o estuviera en reposo, el paso lógico siguiente es plantear *qué es necesario para que un movimiento no sea rectilíneo y uniforme;* es decir, para que tenga *aceleración.*

1.2 ¿CÓMO CONSEGUIR QUE UN CUERPO TENGA ACELERACIÓN? ¿QUÉ HA DE OCURRIR PARA QUE SEA DE UN TIPO U OTRO? (Segundo principio de la Dinámica.)

• La magnitud que diferencia el reposo o el M. R. U. de cualquier otro movimiento es, como ya vimos, la aceleración. *Vamos a plantearnos, pues, cómo conseguir que un movimiento se realice con aceleración.*

A.7 Imaginad un objeto que se encuentre en reposo o moviéndose en línea recta con velocidad constante, e indicad cómo conseguir que abandone dicho estado, es decir, que tenga aceleración.

• Después de la reflexión del apartado anterior, resulta inmediato pensar que, para que un objeto tenga aceleración, es necesario que actúe una fuerza resultante sobre él; es decir, *que la fuerza es la causa de la aceleración de un movimiento.*

A.8 Imaginad un cuerpo en M.R.U. Sabemos que, para producir una aceleración, es necesario que actúe una fuerza resultante sobre él. Indicad la dirección y sentido que debe tener esta fuerza para que el movimiento del cuerpo se transforme en:

a) M.R.U.A. aumentando el módulo de la velocidad.
b) M.R.U.A. disminuyendo el módulo de la velocidad.
c) M.C.U.

A.9 Si deseamos producir una determinada aceleración a un cuerpo, ¿de qué dependerá el valor de la fuerza resultante que es necesaria?

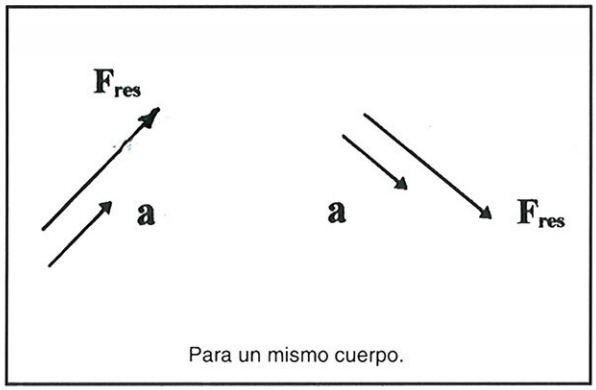
• Parece lógico pensar que, para un determinado objeto, el valor (módulo) de la fuerza resultante que actúe sobre él tendrá que ser mayor cuanto mayor sea el valor (módulo) de la aceleración que se desee conseguir; además de que, como hemos analizado, la fuerza resultante y la aceleración tendrán la misma dirección y sentido.

Por otra parte, también es fácil intuir que la fuerza resultante necesaria para obtener una determinada aceleración dependerá de alguna característica del cuerpo: una misma fuerza no producirá la misma aceleración a un gran trozo de hierro que a un trocito de madera. Esto puede expresarse como $|\mathbf{F}_{res}| = K\,|\mathbf{a}|$, o $\mathbf{F}_{res} = K\,\mathbf{a}$, donde K representa la característica del cuerpo que hace que la fuerza resultante produzca una aceleración mayor o menor.

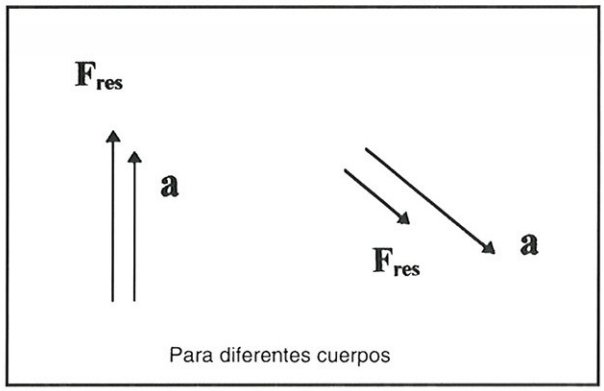
Cuando un objeto tenga un valor de K muy alto, la aceleración conseguida por una determinada fuerza resultante será pequeña; mientras que, si tiene un valor de K pequeño, la aceleración conseguida será mayor. El valor de K de un cuerpo es, pues, una propiedad del mismo que nos indica cómo se va a comportar cuando actúe una fuerza sobre él. A esta propiedad se la denomina *masa inerte* o simplemente *masa;* y la representaremos por m.

• A partir de ahora pues, expresaremos esta idea cuantitativa de fuerza en la forma: $\mathbf{F}_{res} = m\,\mathbf{a}$, que se conoce como *Ecuación fundamental de la Dinámica* o *Segundo principio*, y que puede enunciarse de la siguiente manera:

CUANDO SOBRE UN OBJETO ACTÚA UNA FUERZA RESULTANTE, $\mathbf{F}_{RES}$, PRODUCE UNA ACELERACIÓN, **a**, EN LA MISMA DIRECCIÓN Y SENTIDO QUE DICHA FUERZA RESULTANTE. AMBAS MAGNITUDES SON DIRECTAMENTE PROPORCIONALES Y SE HALLAN RELACIONADAS MEDIANTE LA ECUACIÓN $\mathbf{F}_{RES} = m\,\mathbf{a}$, SIENDO m UNA PROPIEDAD DEL OBJETO DENOMINADA *MASA INERTE*.



Para un mismo cuerpo.



Para diferentes cuerpos

• En la ecuación fundamental de la Dinámica hemos introducido simultáneamente dos magnitudes, *fuerza* y *masa*, que no sabemos aún cómo medir. Es necesario, entonces, definir arbitrariamente —por convenio internacional— la unidad de una de ellas para que podamos medirla * .

Una vez hecho lo anterior, podremos definir la unidad de la otra magnitud —y, por tanto, medirla— basándonos en la relación $\mathbf{F}_{res} = m\,\mathbf{a}$.

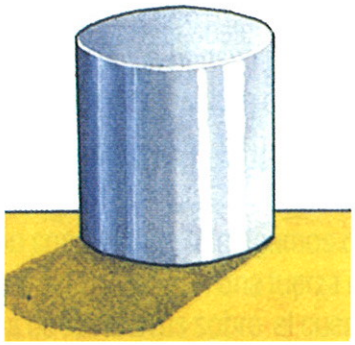
• Puesto que la masa de un cuerpo es una propiedad «invariante» del mismo, independiente de dónde se encuentre en el Universo, se ha elegido la masa como magnitud fundamental** , y la unidad de masa, por convenio internacional, es la masa de un cuerpo que se toma como patrón (un cilindro de platino e iridio). Su símbolo es kg, y su nombre *kilogramo*.

* Medir consiste en comparar dos cantidades de una misma magnitud, una de las cuales se toma como unidad.

Así, cuando decimos que «la longitud del aula es de 8 m», *8* nos indica el número de veces que la cantidad de longitud elegida como unidad (el metro), está comprendida en otra cantidad de longitud (la del aula).

Por tanto, es imprescindible que indiquemos la medida de cualquier cantidad dando su valor (en este caso, 8) y la unidad (en este caso, m), para saber qué significa dicho valor.

** Una magnitud es *fundamental* cuando su unidad se define por convenio, sin basarse en unidades de otras magnitudes.



Kilogramo patrón que se conserva en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Sèvres, París. La masa de este cuerpo se toma como unidad y se llama kilogramo.

• Ya es posible definir la unidad de fuerza: será la fuerza resultante que está actuando sobre un cuerpo de 1 kg de masa que tiene una aceleración de 1 m/s². Su símbolo es N, y su nombre *newton*, en honor de Isaac Newton (1642-1727), que fue quien por primera vez formuló las concepciones sobre fuerza y aceleración que estamos desarrollando (a las que dio el nombre de *Principios de la Dinámica*).

Isaac Newton (1642-1727)

E.1 Completad la siguiente tabla y analizad los resultados encontrados.

$F_{resultante}$ (N)	100	100		200
masa (kg)	10	5	10	
aceleración (m/s²)			20	10

A.10 Sobre un cuerpo, inicialmente en reposo, actúa una única fuerza constante durante 4 segundos. Describid cómo ha sido su movimiento durante 8 segundos; señalad su posición cada segundo mediante cruces y dibujad una gráfica $e = f(t)$.

• Para poder utilizar esta nueva hipótesis o *Segundo principio de la Dinámica*, necesitamos resolver las siguientes cuestiones:

—*¿Cómo medir las fuerzas?*

—*¿Cómo obtener la aceleración cuando actúan varias fuerzas sobre un cuerpo?*

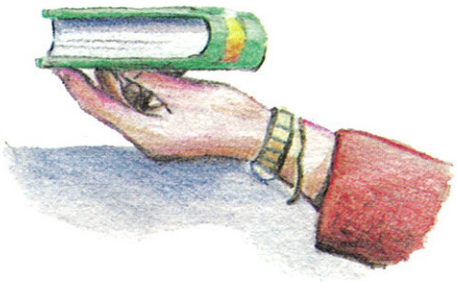
Y hay que recordar, también, que nuestro problema no es sólo cómo conseguir que un cuerpo tenga un movimiento con aceleración, sino explicar qué hace falta para que dicho movimiento sea M.U.A., M. C. U., o curvilíneo general.

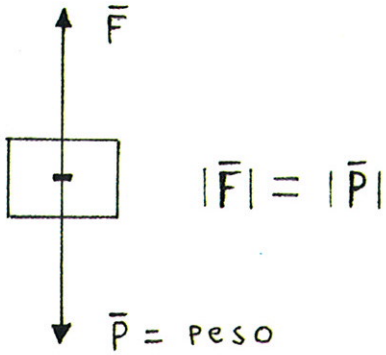
¿Cómo medir las fuerzas? ¿Cómo tener una idea intuitiva sobre si una fuerza es grande o pequeña?

• Hemos introducido la unidad de fuerza, el newton (N). Si conocemos la masa de un cuerpo y la aceleración de su movimiento, podemos obtener el valor de la fuerza resultante, que actúa sobre él, utilizando $|\mathbf{F}_{res}| = m\,|\mathbf{a}|$. Ello puede servirnos, por supuesto, para dar un significado intuitivo al valor de una fuerza. Por ejemplo, una fuerza de 15 N sería una fuerza tal que a un cuerpo de 1 kg le produciría una aceleración de 15 m/s^2, o a un cuerpo de 5 kg una aceleración de 3 m/s^2. No obstante, lo anterior no nos hace apreciar si 15 N es una fuerza «grande» o «pequeña», en términos de nuestra experiencia habitual. Podemos hacernos una idea más intuitiva del valor de 1 N si utilizamos las ideas desarrolladas hasta aquí para analizar el movimiento de un objeto cuya aceleración es conocida: la caída de un cuerpo, como hemos visto, en condiciones de rozamiento despreciable se realiza con una aceleración de 9'8 m/s^2 (valor que simbolizaremos con g, aceleración en caída libre de un cuerpo).

• Nuestra concepción de fuerza como causa de la aceleración implica que, sobre un cuerpo que está cayendo verticalmente, con rozamiento despreciable, actuará una fuerza resultante hacia abajo cuyo módulo valdrá $m \cdot g$. Por ejemplo: sobre un cuerpo de 2 kg que cae verticalmente actuará una fuerza, a la que llamaremos *peso del cuerpo*, cuyo valor será $|\mathbf{F}_{res}| = |\mathbf{P}| = m \cdot g = 2 \cdot 9'8 = 19'6$ N.

Pero podemos hacer que ese cuerpo, sobre el que actúa la fuerza *peso*, tenga aceleración nula: podemos sostenerlo con la mano o con un muelle para impedir que caiga. Según nuestras ideas, al ser $|\mathbf{a}| = 0$, la suma de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo ha de ser cero. Si sigue actuando la fuerza *peso* hacia abajo (algo que podemos comprobar retirando la mano o el muelle), debe haber una fuerza de igual valor, $m \cdot g$, pero hacia arriba, que debe estar «hecha» por la mano o el muelle, de modo que [*ver figura*] $|\mathbf{F}|$ vale lo mismo que el peso del cuerpo.



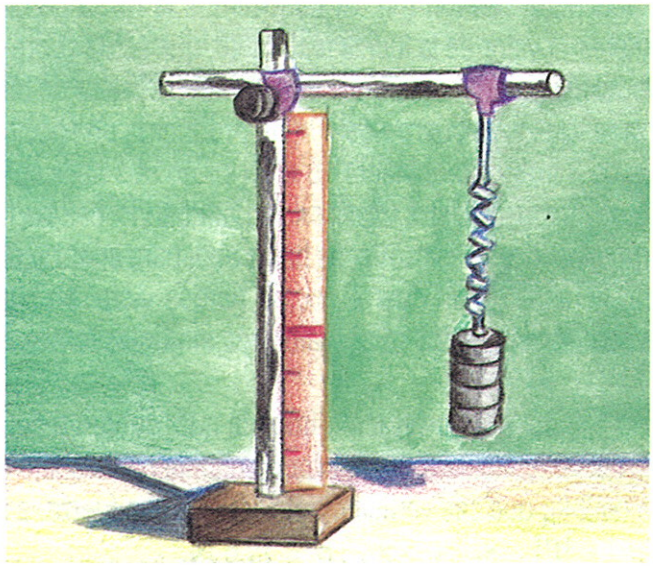


• Así pues, al sostener un cuerpo de 2 kg con aceleración nula, estamos haciendo una fuerza de aproximadamente 20 N (19'6 N, más exactamente); al sostener otro cuerpo de 0'5 kg, estamos haciendo una fuerza de 4'9 N (aproximadamente 5 N). ¿Qué cuerpo deberíamos sostener para hacer una fuerza de 1 N? Pues uno cuya masa fuera tal que la fuerza que actúa sobre él al caer, su peso, fuera de 1 N. Es decir: $1 = m \cdot 9'8 \Rightarrow m = 1/9'8 \simeq 0'1$ kg. Luego, cuando sostenemos un objeto de 100 g, estamos realizando sobre él una fuerza de 1 N.

• Si en lugar de sujetar el cuerpo con la mano lo colgamos de un muelle y lo dejamos en reposo, el muelle estirará del cuerpo con una fuerza igual al peso del mismo (ya que al ser $|\mathbf{a}| = 0$, la suma de las fuerzas sobre el cuerpo ha de ser cero). Puesto que existe una relación* de proporcionalidad entre la fuerza que realiza el muelle y lo que se estira o se comprime (a doble fuerza, doble estira-

* En cursos anteriores se comprobó esta relación, conocida como *ley de Hooke*.

miento, o doble compresión), para un muelle determinado se puede conocer la fuerza necesaria para que se estire o comprima una determinada longitud, y calibrar directamente el muelle en N. A un muelle calibrado de esta forma se le llama *dinamómetro* y es muy útil por la comodidad con que se pueden medir fuerzas con él.



A.11 Estimad la fuerza que hay que realizar para sostener los siguientes objetos: un libro, una silla, una mesa, el compañero/a.

• En otros casos, como por ejemplo en el de algunas básculas de baño, el resorte, en lugar de alargarse, se comprime, siendo su compresión proporcional al peso de la persona que se coloca sobre la báscula. Conviene tener en cuenta que, aunque la escala suele estar calibrada en kg, cuando la aguja señala, por ejemplo, 70 kg, esto no debe interpretarse como una fuerza *peso* de 70 kg (el kg es una unidad de masa, no de fuerza) sino como que esa persona ejerce hacia abajo sobre la báscula una fuerza igual al peso de una masa de 70 kg (unos 686 N).

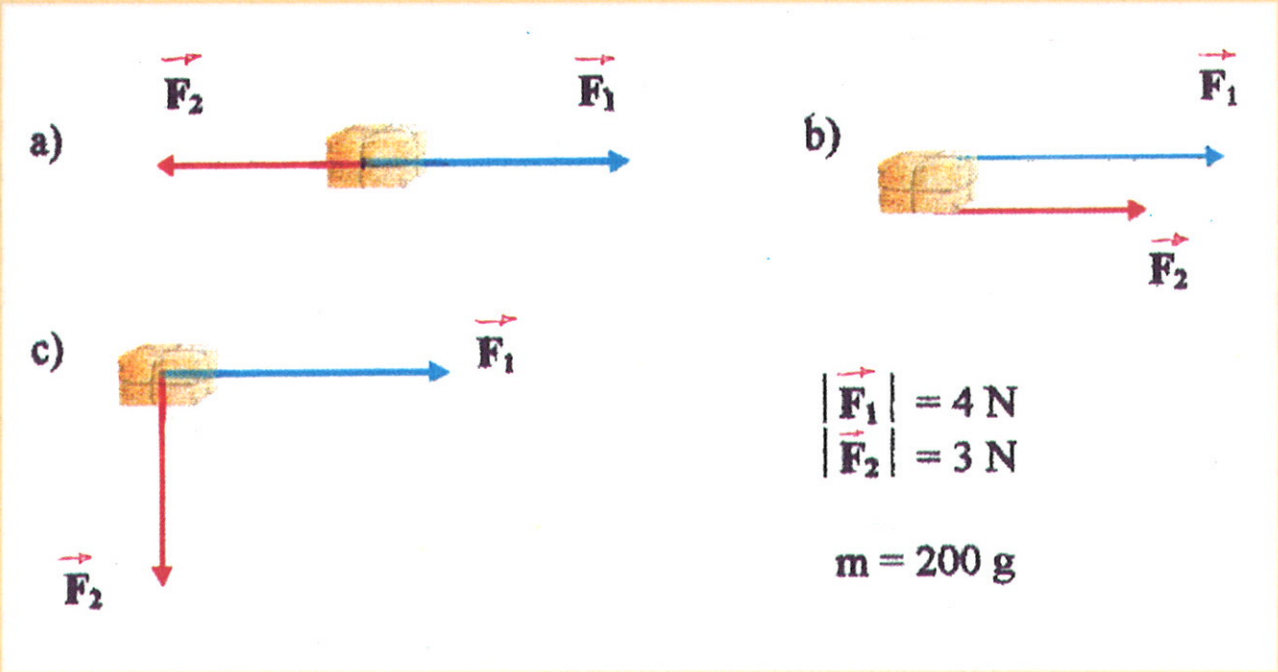
• *Acabamos de ver una situación en que actúa más de una fuerza sobre un mismo cuerpo. Se trata de una situación frecuente, por lo que ahora hay que abordar cómo hallar la aceleración de un cuerpo sobre el que actúan varias fuerzas.*

¿Cómo hallar la fuerza resultante de varias fuerzas?

• Ya sabemos que la fuerza es una magnitud vectorial y que, por tanto, se requiere conocer su valor numérico o módulo, su dirección y su sentido para caracterizarla. También sabemos que, en este caso, la suma de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo (o fuerza resultante: una sola fuerza que produzca la misma aceleración que todas juntas) no se puede hallar sumando los módulos de cada una de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo. De hecho, en el apartado anterior, hemos visto cómo la fuerza resultante de dos fuerzas no nulas puede ser nula: si estiramos de un mismo cuerpo en dos direcciones cualesquiera con dos dinamómetros con fuerzas cuyos módulos sean 3 y 5 N, la suma de ambas puede no ser 8 N.

Dado que nuestra concepción de fuerza y su relación con la aceleración se basa siempre en la fuerza resultante, o suma de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, *es necesario saber sumar fuerzas.*

A.12 Hallad la fuerza resultante, $\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$, (módulo, dirección y sentido), y la aceleración, **a**, del objeto en los casos siguientes:



A.12.1 [*Opcional*] Realizad un diseño experimental utilizando dinamómetros para verificar que la fuerza resultante es la hallada

E.2 La fuerza que se opone al movimiento de un objeto de 80 kg es de 200 N. Calculad la fuerza que hemos de hacer sobre él para que vaya a velocidad constante y en línea recta.

E.3 Empujamos un cubo de 200 kg con una fuerza de 300 N y no conseguimos moverlo. Calculad la fuerza de rozamiento sobre él.

A.13 Sobre un cuerpo de 50 kg se hacen distintas fuerzas para moverlo, obteniéndose en cada caso los valores de aceleración que figuran en la siguiente tabla:

$\lvert\mathbf{F}\rvert$ (N)	100	200	300	400	500	600
$\lvert\mathbf{a}\rvert$ (m/s^2)	0	0	0	0	1	3

Determinad la fuerza de rozamiento en cada momento.

A.14 A modo de recapitulación, utilizad las ideas sobre fuerza y movimientos desarrolladas hasta aquí para contestar:

a) ¿Cómo habría que empujar a una persona que se mueve en línea recta, con velocidad constante, para que su movimiento cambiara de ser:

—M.R.U.A con módulo de **v** aumentando;
—M.R.U.A con módulo de **v** disminuyendo
—M.C.U.

Realizad la experiencia y haced esquemas gráficos donde se indiquen **F**, **a** y **v**.

b) Un cuerpo tiene un M.C.U. sobre una superficie horizontal sin rozamiento. Dibujad la trayectoria que describiría y el tipo de movimiento que tendría si cesara repentinamente la fuerza que está actuando sobre él.

c) ¿En qué condiciones el movimiento de un cuerpo (su velocidad) se realizará en la dirección y sentido de la fuerza resultante que actúa sobre él?

• Tenemos una hipótesis, la que hemos denominado *Hipótesis* o *Principio fundamental de la Dinámica*, según la cual, para que haya aceleración, tiene que haber fuerza resultante distinta de cero sobre un cuerpo. La fuerza es la causa de la aceleración de los cuerpos, no de su velocidad. Aún más, dicha idea la hemos concretado de forma cuantitativa, $\mathbf{F}_{res} = m\,\mathbf{a}$, de modo que podemos conocer, la $\mathbf{F}_{res}$ que actúa sobre un cuerpo si conocemos su masa y su aceleración; o su $\mathbf{a}$, si conocemos la $\mathbf{F}_{res}$ que actúa sobre él y el valor de su masa.

• *El resumen de lo que hemos avanzado, hasta este momento, sobre cómo conseguir que un movimiento sea de un tipo determinado, puede ser el siguiente:*

1. Para que un cuerpo se mueva con $\mathbf{v}$ constante, por muy grande que sea ésta, es necesario que no actúe fuerza resultante alguna sobre él. El reposo y el M.R.U. son totalmente equivalentes desde el punto de vista de qué hace falta para que ocurran.
2. Para que un cuerpo realice un movimiento que tenga aceleración, es necesario que esté actuando sobre él una fuerza resultante. La dirección y sentido de la fuerza resultante son los de la aceleración, y sus valores están relacionados de la siguiente manera: $|\mathbf{F}_{res}| = m\,|\mathbf{a}|$.

   El tipo de movimiento dependerá del ángulo que formen $\mathbf{F}_{res}$ y $\mathbf{v}$:

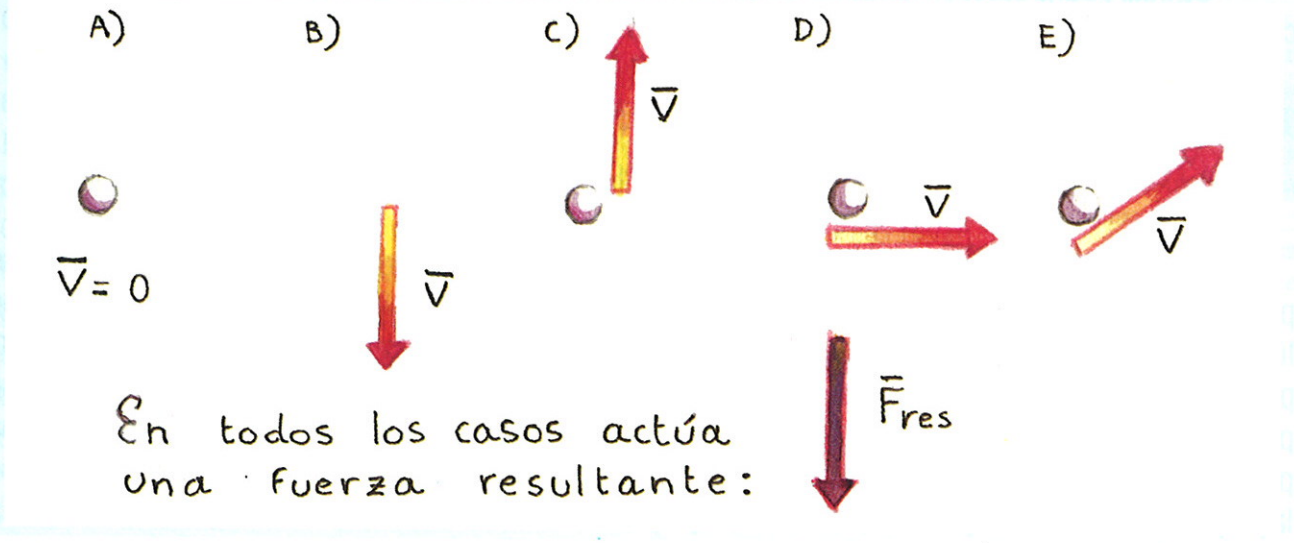
   2.1 Si $\mathbf{F}_{res}$ y $\mathbf{v}$ forman un ángulo de 0° o 180° (es decir, tienen la misma dirección), será un M.R.U.A., con $|\mathbf{v}|$ aumentando (0°, o el mismo sentido) o con $|\mathbf{v}|$ disminuyendo (180°, o sentidos contrarios).

   2.2 Si el ángulo entre $\mathbf{F}_{res}$ y $\mathbf{v}$ es en todo momento de 90° (son perpendiculares), el movimiento será circular uniforme.

   2.3 Si $\mathbf{F}_{res}$ y $\mathbf{v}$ forman un ángulo distinto de 0°, 90° o 180°, el movimiento será curvilíneo, de complejidad variable.

   2.4 Si el cuerpo está en reposo cuando empieza a actuar una fuerza constante sobre él, el movimiento será rectilíneo uniformemente acelerado mientras siga actuando la fuerza; la velocidad irá en la dirección y sentido de la fuerza resultante.
3. Los objetos inanimados pueden ejercer fuerzas sobre otros objetos; el valor, dirección y sentido de estas fuerzas se puede hallar aplicando $\mathbf{F}_{res} = m\,\mathbf{a}$, si se conoce la aceleración del cuerpo que se estudia.

E.4 ¿Cómo se moverán los cuerpos representados al actuar sobre ellos la misma fuerza resultante?



• Para tener una explicación completa —ya veremos si válida— de qué es lo que hace que el movimiento de un cuerpo sea como es, no basta con decir que, para que haya aceleración, hace falta una fuerza. Y es que en algunos casos podemos identificar claramente de dónde procede, o «quien ejerce», la fuerza sobre un objeto: vemos una cuerda tirando, alguien empujando, un contacto con otro objeto, etc. Por ejemplo:

—Si un objeto está parado sobre una superficie sin rozamiento y queremos que se acelere, sabemos que hay que ejercerle una fuerza, lo que podríamos hacer empujándolo, estirando con una cuerda...

—Si queremos que una piedra realice un M.C.U., sabemos que, cuando tenga velocidad constante, hay que realizarle una fuerza y mantenerla siempre perpendicular a su velocidad, lo que haríamos enganchándole una cuerda y estirando siempre perpendicularmente a ella.

• Pero también hay situaciones en que el movimiento es acelerado y no está claro, o no vemos en absoluto, «de dónde viene» esa fuerza que, según lo visto hasta aquí, debe estar actuando sobre el cuerpo. Esto ocurre en las siguientes situaciones:

—Un corredor en una carrera o un coche parece que puedan acelerar «a su antojo», es decir, que se puedan empujar, realizar fuerzas a sí mismos.

—Un cuerpo que sube o cae en el aire tiene aceleración; debe haber una fuerza resultante actuando sobre él, pero no vemos ningún «contacto» con otro cuerpo, como cuando hay un empujón.

—Sobre la Luna debe haber una fuerza resultante no nula, pues tiene un M.C.U., pero ocurre lo que en la situación anterior.

• Así pues, ¿de dónde vienen esas fuerzas?, ¿acaso pueden algunos cuerpos acelerarse —hacerse fuerzas— a sí mismos y otros no? ¿Qué ha de ocurrir para que actúe una fuerza sobre un cuerpo?

Se trata de una cuestión fundamental que hemos de resolver, si queremos tener una explicación de las causas de que un movimiento sea de una u otra forma...

1.3 ¿PUEDEN LOS CUERPOS ACELERARSE A SÍ MISMOS? (Tercer principio de la Dinámica.)

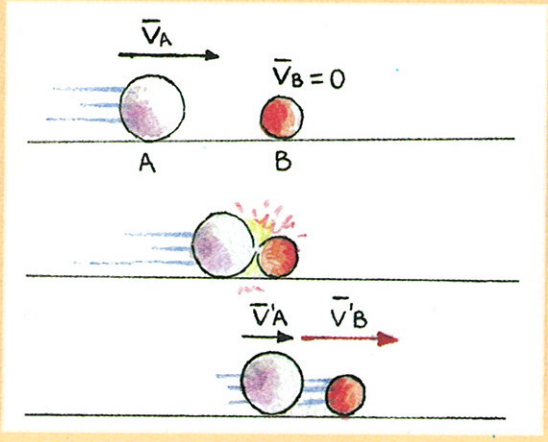
• Es necesario que advirtamos que, si aceptáramos la idea de que algunos cuerpos pueden acelerarse por sí mismos y otros no, estaríamos renunciando a encontrar una explicación unitaria, universal, de por qué los movimientos son como son, al aceptar que existen diferencias esenciales en el movimiento de los cuerpos según sea su naturaleza. Ello equivaldría a admitir, por ejemplo, que los seres vivos pueden acelerarse por sí solos, pero los inanimados, que están en reposo o M.R.U., no; que acelerarse hacia abajo es una propiedad de los cuerpos pesados, pero no de otros, como un globo lleno de hidrógeno; o que la Luna tiene la propiedad de acelerarse por sí misma de modo perpendicular a su velocidad (de modo que su M.C.U. seria «natural»), algo que no ocurre con los objetos que tienen movimiento circular en la superficie terrestre (debe haber una cuerda o algo que les ejerza una fuerza).

• Por tanto, en la búsqueda de una explicación unitaria de por qué los movimientos son de una u otra forma, *la cuestión de «qué hace falta para que actúe una fuerza sobre un cuerpo» es, como ya hemos dicho, una cuestión crucial, y debemos tratar de encontrar una respuesta que pueda ser común a todos los movimientos,* independientemente de la naturaleza del cuerpo que se mueve.

1.3.1 ¿QUÉ HACE FALTA PARA QUE ACTÚE UNA FUERZA SOBRE UN CUERPO?

• Para reflexionar sobre este punto, vamos a centrarnos en un caso en el que no intervenga ser vivo alguno a fin de evitar sentirnos implicados como «agentes». Podemos pensar, por ejemplo, en el choque de dos bolas de distinta masa que se mueven con velocidades constantes por una superficie horizontal sin rozamiento (una mesa de billar ideal), o en dos discos de acero que se mueven en una superficie horizontal de hielo seco.

A.15 El dibujo representa dos bolas sobre una superficie horizontal sin rozamiento, antes, durante y después de chocar entre sí. Identificad cuándo existirá aceleración y fuerza sobre cada una de las bolas, y dibujad los vectores que las representan.

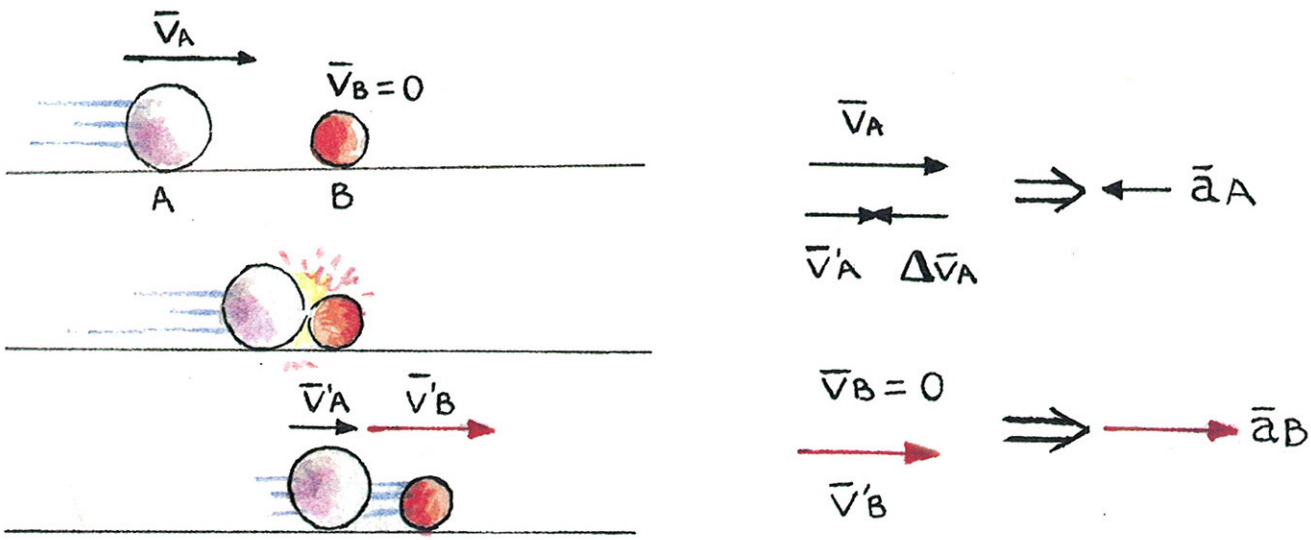


• Mientras dura el choque (cualquier choque tiene una duración, por pequeña que sea), $\mathbf{v}_A$ y $\mathbf{v}_B$ están variando; luego tanto A como B tienen aceleración. Cuando cesa el choque (cuando cesa la interacción entre A y B), cada bola tiene una velocidad distinta de la que tenía antes del choque, $\mathbf{v'}_A$ y $\mathbf{v'}_B$, que ya no variará al no haber rozamiento. Así pues, debido al choque entre A y B, la bola A ha sufrido una aceleración $\mathbf{a}_A$, y por tanto una fuerza $\mathbf{F}_A$, que sólo dura mientras dura la interacción (el contacto entre A y B, el choque). El valor medio de la fuerza que actúa sobre A, será $m_A\ |\mathbf{a}_A|$, y la dirección y sentido* serían los de $\mathbf{a}_A$, como se indica en la figura. Pero B también se ha acelerado simultáneamente: si nos detenemos a determinar gráficamente $\mathbf{a}_B$, encontramos que es de igual dirección que $\mathbf{a}_A$ y de sentido opuesto. Concluiremos, por tanto, que, debido al choque con A, sobre B ha actuado una fuerza, $\mathbf{F}_B$, que valdrá $\mathbf{F}_B = m_B \cdot \mathbf{a}_B$, cuya dirección es la de $\mathbf{F}_A$, siendo su sentido el opuesto. [*Ver la siguiente figura*].

* En el capítulo anterior hemos visto que

$$\mathbf{a}_A = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{v'}_A - \mathbf{v}_A}{\Delta t}$$

donde Δt es el tiempo que dura el choque y $\Delta \mathbf{v}$ es la velocidad después del choque menos la velocidad antes del choque. De un modo aproximado, podemos hallar gráficamente la dirección y sentido de $\mathbf{a}_A$, que es el de $\mathbf{v}$, restando gráficamente, como en el tema anterior.



• Vemos, en este caso, que, cuando hay fuerza actuando sobre una de las bolas, actúa simultáneamente otra fuerza de igual dirección y sentido contrario sobre la otra; pero *¿qué podemos decir del valor de estas fuerzas?*

A.16 ¿Qué relación existe entre la fuerza que experimenta A y la fuerza que experimenta B durante el choque?

• La respuesta no es fácil, pero podemos formular una hipótesis justificada si nos fijamos en el choque de dos objetos de masas muy distintas (por ejemplo, una moneda de 500 ptas. y una de 5 ptas. en una superficie horizontal con poco rozamiento). Durante el choque de las dos monedas, la aceleración de la de mayor masa será muy pequeña (variará muy poco su velocidad en el tiempo que dura el choque) en comparación con la aceleración de la moneda pequeña (que variará mucho su velocidad en el tiempo que dura el choque). Está claro, experimentalmente, que las aceleraciones de los objetos que interaccionan serán, en

general, diferentes. Pero con la fuerza puede no ocurrir lo mismo: el producto $m_A\ |\mathbf{a}_A|$ y el producto $m_B\ |\mathbf{a}_B|$ podrían ser iguales precisamente porque en casos extremos, como el de las monedas, se nota claramente que el cuerpo de mayor masa adquiere una aceleración menor; y viceversa. Elegiremos, pues, la hipótesis más sencilla: cuando dos cuerpos interaccionan (chocan, hay contacto entre ellos), la intensidad de la interacción, es la misma para cada uno de ellos; es decir, la fuerza que actúa sobre A debido a que interacciona con B, $\mathbf{F}_{AB}$, es igual y de sentido opuesto a la que actúa sobre B debido a que interacciona con A, $\mathbf{F}_{BA}$.

• De modo que, a título de hipótesis —cuya validez dependerá de la validez de todo lo que se deduzca a partir de la idea de fuerza que estamos elaborando, que se conoce con el nombre de *Tercer principio de la Dinámica* o *Principio de acción-reacción*—, diremos que:

—un cuerpo no puede acelerarse, hacerse fuerza, a sí mismo;

—para que haya una fuerza sobre un cuerpo, tiene que haber dos; es decir, para que haya fuerza tiene que haber interacción (acción mutua y simultánea) entre dos cuerpos;

—cuando dos cuerpos interaccionan, independientemente de que sean seres vivos u objetos inanimados, actúan fuerzas simultáneas sobre cada uno de ellos, que duran mientras dura la interacción.

De un modo más preciso:

SI UN CUERPO, A, EJERCE UNA FUERZA SOBRE OTRO, B, EL B EJERCE SOBRE EL A UNA FUERZA IGUAL Y DE SENTIDO OPUESTO. SI $\mathbf{F}_{AB}$ ES LA FUERZA QUE ACTÚA SOBRE A DEBIDO A LA INTERACCIÓN CON B, Y $\mathbf{F}_{BA}$ ES LA FUERZA QUE ACTÚA SOBRE B DEBIDO A LA INTERACCIÓN CON A: $\mathbf{F}_{AB} = -\mathbf{F}_{BA}$

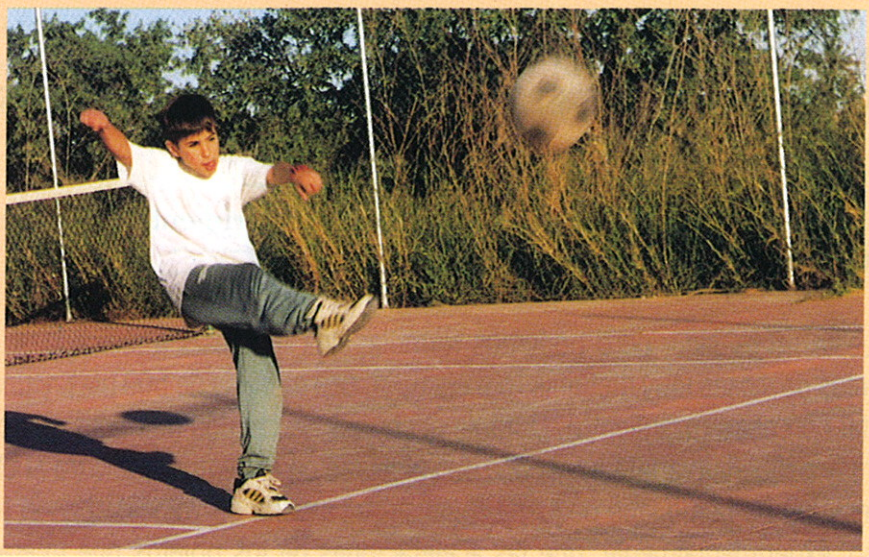
A estas fuerzas, que actúan cada una de ellas sobre un cuerpo distinto —una sobre A y la otra sobre B—, pero que «provienen« de la misma interacción, se las llama *par acción-reacción.*

• No obstante, hay casos en que vemos la interacción, el contacto, entre dos cuerpos, pero sólo uno de ellos parece acelerarse:

A.17

a) ¿Qué ocurriría si, en lugar de tratarse de un choque entre dos bolas o discos, la situación fuera la de una persona que da un empujón a una de las bolas?

b) ¿Qué ocurriría si el cambio de velocidad de la bola A hubiera sido debido a que choca contra un muro o una raqueta?



• Si en el choque que hemos considerado en A.15, viéramos la bola A luminosa en una oscuridad total, no podríamos distinguir si la fuerza que actúa sobre ella es debida a un choque con otra bola, a que ha comprimido un muelle, a un empujón de una mano o a un golpe contra un muro o una raqueta. De modo que todo lo que hemos dicho para el choque entre las bolas podemos afirmarlo para cualquiera de estos casos.

• Así, admitimos que, para que actúe una fuerza sobre un cuerpo A, tiene que actuar simultáneamente otra fuerza sobre un cuerpo B, que interaccione con él. Dicho de otro modo: no podría existir una fuerza sobre A si no existiera simultáneamente otra fuerza sobre B; es necesario que existan dos cuerpos que interaccionen para que haya fuerza.

• Más aún, si, para que haya fuerza sobre un cuerpo, éste siempre tiene que interaccionar con otro, y, mientras dura la interacción, sobre cada uno de ellos actúa una fuerza, ¿qué relación existirá entre ambas fuerzas?, ¿podríamos saber la fuerza que actúa sobre uno de los cuerpos conociendo la fuerza que actúa sobre el otro?

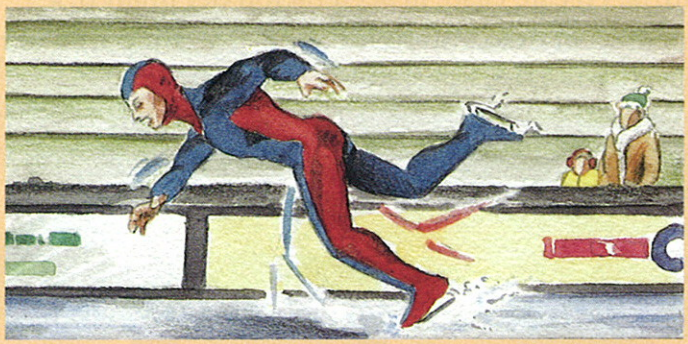
Si fuera así, podríamos conocer la fuerza que actúa sobre la mano, el muro o la raqueta de tenis a partir de la fuerza que actúa sobre la pelota.

• Con la hipótesis «Si un cuerpo, A, ejerce una fuerza sobre otro, B, el B ejerce sobre el A una fuerza igual y de sentido opuesto» y el *Segundo principio*, $\mathbf{F}_{res} = m\,\mathbf{a}$, podemos explicar el estado de movimiento de cuerpos en situaciones sencillas, identificando de dónde provienen las fuerzas que actúan sobre ellos.

A.18

a) ¿Podrían un corredor o un coche acelerar si estuvieran sobre una superficie sin rozamiento?

b) ¿Se acelerarían hacia arriba un globo lleno de hidrógeno o un trozo de madera si no estuvieran en un «mar de aire» o un «mar de agua», respectivamente?

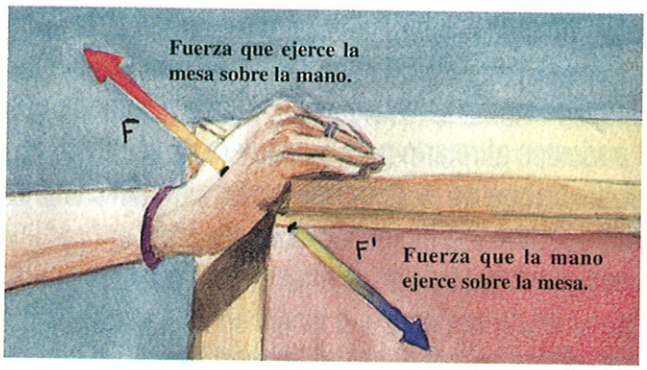


A.19 Identificad las fuerzas que intervienen en las siguientes interacciones:

a) Coche-suelo en el instante de arrancar.

b) Martillo golpeando clavo.

c) Vehículo que choca con un árbol.



A.20 Una tenista consigue en el saque que la pelota adquiera una velocidad de 190 km/h. Averiguad la fuerza que debe comunicársele con la raqueta si sabemos que la masa de la pelota es de 60 g y se estima que el tiempo en que están en contacto es de aproximadamente 0'1 s.

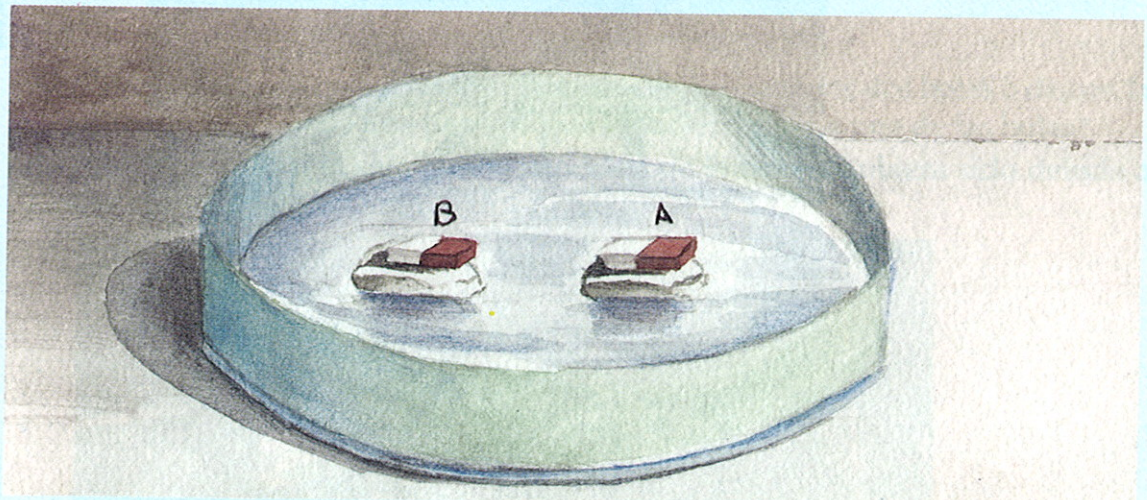
E.5 ¿Qué fuerza ejercerá, sobre la pared de un frontón, una pelota de 200 g que choca contra ella a 30 m/s e invierte su velocidad? (*Tiempo estimado de contacto: 0'1 s.*)

E.6 Imaginad dos imanes, A y B, colocados sobre sendos corchos en una cubeta de agua como se muestra en la figura. Suponiendo que la $m_A = 2m_B$ (p.e., 200 y 100 g respectivamente):

a) ¿Qué cabe decir de los valores de las fuerzas de interacción $\mathbf{F}_{AB}$ y $\mathbf{F}_{BA}$ entre los imanes?

b) Suponed que la aceleración del imán A en un instante sea $\mathbf{a}_A = 0'2\ m/s^2$, ¿cuánto valdría, en este caso, la aceleración del imán B, $\mathbf{a}_B$?

d) Obtened, en el caso anterior, $\mathbf{F}_{AB}$ y $\mathbf{F}_{BA}$; y comparad el resultado con la predicción efectuada en el apartado *a)*.



• Pero hay algo que queda por «encajar»: sobre un cuerpo que sube o cae, o sobre la Luna, no vemos ningún tipo de «contacto» con ningún otro cuerpo que pudiera explicar que exista una fuerza sobre ellos (en el caso del corredor y el coche, hemos encontrado el suelo; en el caso del globo, el aire; etc.). Si no deseamos admitir que haya diferencias entre estos cuerpos y los demás, *hemos de preguntarnos de dónde proviene —a que interacción puede deberse— el peso de los cuerpos y la fuerza que debe actuar sobre la Luna para que tenga un M.C.U.*