

# Experiencias escolares de Física. Los principios de la dinámica

---

Por JESUS LAHERA CLARAMONTE  
Catedrático de Escuela Normal - Madrid

---

En esta nota didáctica se muestran las experiencias que permiten un tratamiento muy asequible de los principios de la dinámica, con la intención de que así puedan ser tratados a nivel de Educación Básica. En particular, se presenta un recurso didáctico (el "disco de hielo seco") que es habitualmente utilizado en proyectos modernos de la enseñanza de la física, tal como el curso PSSC. Aunque los conceptos en que se basan las experiencias son suficientemente conocidos por el lector, hemos preferido reiterarlos, a fin de que la lectura de esta nota presente una mayor coherencia y posibilite idear otras experiencias que por razones de brevedad han sido excluidas.

## I. ¿QUE ES LA INERCIA?

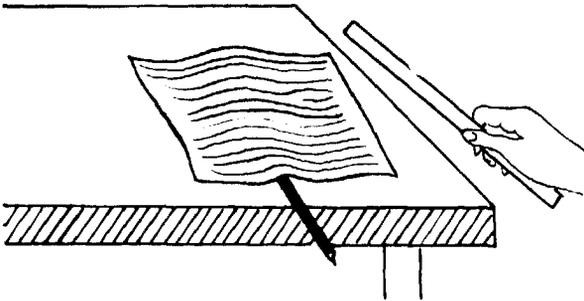
Las ideas fundamentales de dinámica fueron formuladas definitivamente por Newton, en forma de principios o postulados; no obstante, podemos hacer una comprobación experimental de ellos. El primer principio de dinámica establece que "si no se ejerce ninguna fuerza sobre un cuerpo, éste tiende a continuar en su estado inicial de reposo o movimiento". A esta tendencia a seguir en el estado inicial se le llama *inercia*. El enunciado de este principio presenta dos aspectos, que consideraremos separadamente.

### 1.1. INERCIA DE REPOSO.

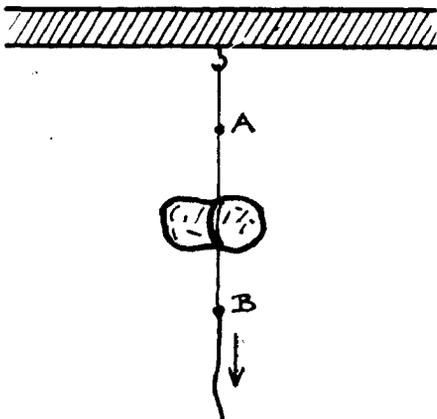
Un cuerpo en reposo permanece en reposo si no se ejerce ninguna fuerza sobre él. Este hecho es evidente: un objeto abandonado sobre una mesa permanece en reposo y para moverlo es necesario que actúe una fuerza. Esta resistencia de un cuerpo para pasar del reposo al movimiento se llama *inercia de reposo*. Numerosas experiencias ponen de manifiesto la existencia de esta inercia.

- a) Cuando una persona va en un automóvil y éste arranca, la persona es empujada hacia atrás, pues por inercia tiende a ocupar la posición primitiva.
- b) Colocando una moneda sobre un papel y tirando con fuerza de éste, la moneda no se mueve prácticamente; si se anulara el rozamiento entre la moneda y el papel, ésta permanecería en el mismo sitio.
- c) Poner sobre una botella de boca ancha una tarjeta a cartulina y encima de ella, centrada, una moneda. Al tirar bruscamente de la tarjeta la moneda, por inercia, tiende a mantener su posición y cae al interior de la botella.
- d) Hacer una pila de libros y tirar bruscamente de alguno situado en la parte inferior, que se podrá sacar así sin desmoronar la pila. Conviene, para disminuir el rozamiento, utilizar libros de cubierta plastificada.

- e) Colocar un lápiz largo de madera blanda sobre una mesa, de manera que sobresalga del borde, y poner encima un papel de periódico (figura 1). Dando un golpe seco con el canto de la mano o con una varilla puede romperse el lápiz con inesperada facilidad. Si el golpe se hace con lentitud, el lápiz levanta el papel, pero no se rompe, lo que prueba que el papel no es suficientemente pesado para impedir el movimiento del lápiz; es la propia inercia de éste la que se opone al movimiento, inercia que, reforzada por la del periódico, ocasiona la ruptura del lápiz ante una acción exterior prácticamente instantánea.



- f) Una piedra (fig. 2) está suspendida por un hilo A (de consistencia ligeramente suficiente para sostenerla) y se tira de ella hacia abajo por la parte inferior B del hilo. Si la fuerza F que se aplica es un tirón lento y uniforme el hilo se rompe, naturalmente, por A; pero si la fuerza es un tirón rápido y violento, el hilo se rompe por B, pues en este caso la fuerza F es, momentáneamente, muy grande, haciendo que el hilo se rompa antes de que la piedra haya tenido tiempo de moverse hacia abajo lo suficiente para estirar y romper el hilo superior. La inercia de reposo de la piedra hace que momentáneamente la fuerza exterior actúe en B y no en A, rompiéndose el hilo, en consecuencia, por la parte inferior.



## 1.2. INERCIA DE MOVIMIENTO.

Un cuerpo en movimiento (rectilíneo y uniforme) permanece indefinidamente en este estado de movimiento si no actúan fuerzas sobre él. Este postulado no es tan evidente como el anterior, pues sabemos por experiencia que los cuerpos tienden a pararse, de modo que si lanzamos una esfera por el suelo recorre una cierta distancia y se para. Debemos pensar que esto es debido a las fuerzas de rozamiento, ya que si lanzamos la esfera por una pista de hielo el recorrido hasta pararse es mucho mayor; si pudiéramos eliminar totalmente el rozamiento, la esfera seguiría indefinidamente en movimiento. Según este principio, un cuerpo en movimiento tiende a conservar su movimiento, ofreciendo una cierta resistencia a ser parado; hay, pues, también una *inercia de movimiento*.

Este principio fue ya expresado de una manera intuitiva por Galileo, al observar que cuando un cuerpo cae por un plano inclinado su velocidad aumenta, y cuando sube, su velocidad disminuye; en consecuencia, cuando un cuerpo se desliza por un plano horizontal su velocidad no debe aumentar ni disminuir, es decir, debe permanecer constante (fig. 3).



Consideremos algunos fenómenos que demuestran la existencia de la inercia de movimiento:

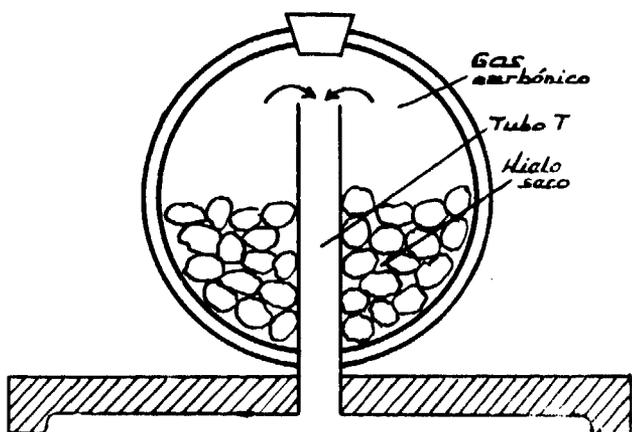
- Una persona que va dentro de un automóvil es empujada violentamente hacia adelante al frenar bruscamente el automóvil, pues tiende a conservar su estado de movimiento. ¿Qué función desempeñan en los automóviles los cinturones de seguridad?
- Cuando se lanza una piedra con una honda, sale despedida según una trayectoria rectilínea tangente a la circunferencia de giro, precisamente por su inercia de movimiento.
- Penetrar un poco el filo de un cuchillo sobre una manzana. Al golpear sobre una mesa el cuchillo, por el borde opuesto al filo, la man-

zana tiende por inercia a conservar su movimiento, penetrando en el cuchillo, y de esta manera "indirecta" puede ser cortada.

- d) Cuando se lanza tierra de un sitio a otro con una pala hacemos uso del principio de inercia. En efecto, inicialmente se pone en movimiento el conjunto pala y tierra, pero al tener sujeta con las manos la pala detenemos al final su movimiento, no así el de la tierra, que por inercia sale despedida.
- e) Dar un impulso de giro a un trompo; por inercia tiende a continuar en su movimiento inicial de rotación. Probar la duración del movimiento cuando el trompo se lanza a suelo de tierra, sobre madera, sobre material pulimentado... Se comprueba fácilmente con esferas y anillos que la inercia de rotación depende de la masa del cuerpo y de su forma geométrica. Una experiencia sencilla, recogida del Manual de la Unesco, es la manera de diferenciar un huevo duro de otro fresco: se hace girar cada uno de ellos sobre sí mismo, en una superficie suficientemente lisa, y el que se detenga antes es el fresco, pues el contenido líquido dificulta el movimiento de rotación.

### 1.3. EL DISCO DE HIELO SECO.

Para comprobar en mejores condiciones el principio de inercia es conveniente *reducir el rozamiento* entre los cuerpos, lo que se consigue adecuadamente con el "disco de hielo seco". Este dispositivo (figura 4) está formado por una bola hueca de co-



bre o latón, de unos 10 cm. de diámetro, estando soldada por la parte inferior a un disco circular metálico. El hielo seco (anhídrido carbónico sólido) que lleva en su interior sublima, y el gas carbónico sale por el tubo T de desprendimiento, de manera que el disco metálico "flota" sobre una delgada capa de este gas, resultando así el rozamiento muy pequeño. Con este disco se consigue una demostración muy espectacular del principio de inercia, pues cuando se le comunica un empuje muy ligero se pone inmediatamente en movimiento y sigue desplazándose con velocidad constante durante mucho tiempo. Si la experiencia se hace sobre una lámina de vidrio, al disminuir más el rozamiento, el fenómeno de conservación del movimiento es más evidente.

## 2. SEGUNDA LEY DE NEWTON

La primera ley de Newton puede enunciarse de forma muy abreviada diciendo que si sobre un cuerpo la fuerza actuante es nula, también es nula la aceleración. La segunda ley de Newton establece una *relación cuantitativa* entre la intensidad de la fuerza actuante sobre un cuerpo y la *aceleración* que le produce: "La fuerza exterior resultante que actúa sobre un cuerpo material es directamente proporcional a la aceleración que éste adquiere." Si representamos por  $F$  la fuerza actuante y por  $a$  la aceleración, podemos escribir:

$$F \rightarrow a$$

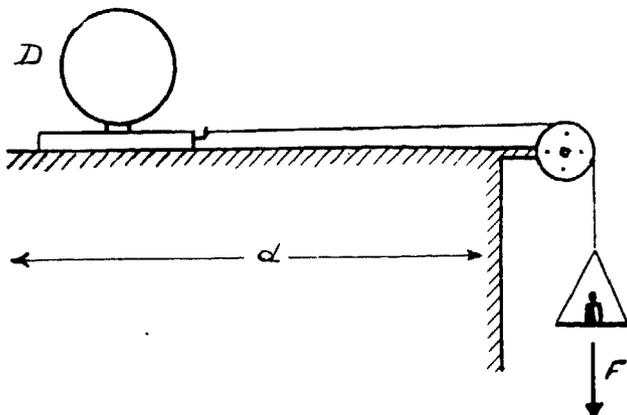
donde el signo  $\rightarrow$  quiere decir "proporcional a"; como cuando dos magnitudes son proporcionales, la razón de dos cantidades cualesquiera de ambas es constante, la relación anterior puede expresarse por

$$\frac{F}{a} = k$$

donde la constante  $k$  puede considerarse como la medida de la inercia del cuerpo, pues si la razón  $F/a$  es grande, ello indica que para producir una determinada aceleración se requiere una fuerza grande, que es lo que esperamos que ocurra en cuerpos de mucha materia, a los que asignamos intuitivamente una gran inercia, mayor que a los cuerpos de pequeña masa. Por esta razón, la constante anterior recibe el nombre de *masa inercial*  $m$ , y la ley de Newton se escribe:

$$F = ma$$

Esta relación, tan conocida por los estudiantes de física, ¿es verdad por definición o está sujeta a comprobación experimental? Utilicemos un dispositivo como el indicado en la figura 5: D es disco de hielo seco (en su defecto puede utilizarse un carrito de ruedas) y P es una polea que permite acelerarlo por la acción de los pesos colocados en el platillo p.



Una vez puesto en movimiento el disco, se mide con un cronómetro el tiempo invertido en recorrer un trayecto  $a$  (que se mide con un metro), y por aplicación de la fórmula

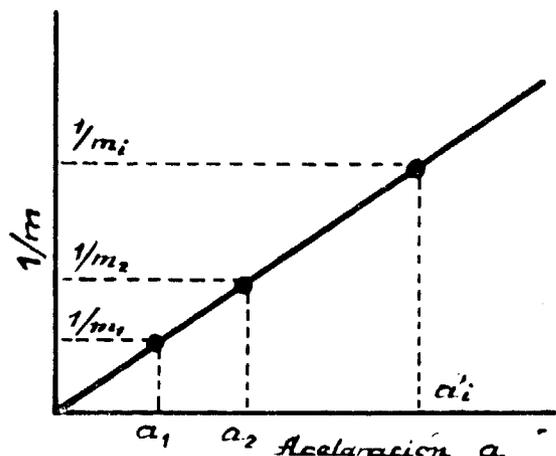
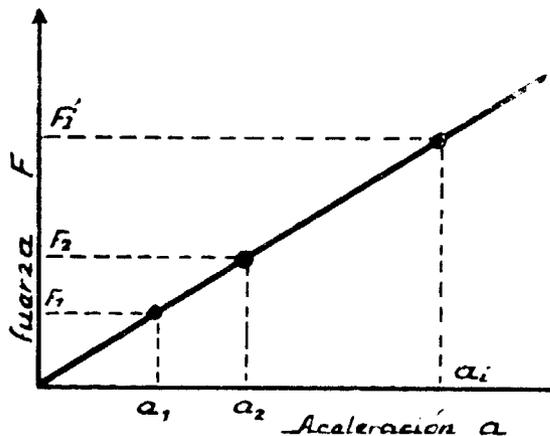
$$d = \frac{1}{2} \cdot a t^2$$

podemos determinar su aceleración:

$$a = \frac{2d}{t^2}$$

Con este dispositivo, pues, podemos medir *fuerzas* (son los pesos colocados en el platillo) y *aceleraciones* (por aplicación de la fórmula anterior). La práctica experimental se realiza en dos fases:

a) La masa  $m$  del disco o carrito permanece constante y se colocan distintos pesos  $F_1, F_2, \dots, F_i$  en el platillo, calculando en cada caso las aceleraciones  $a_1, a_2, \dots, a_i$  producidas. Si se hace una representación gráfica con los resultados obtenidos se obtiene una línea recta, que muestra que permaneciendo constante la masa de un cuerpo la fuerza aplicada es proporcional a la aceleración producida (fig 6, a).



b) Se varía la masa del disco o carrito, colocando encima pesos adicionales, de modo que en cada caso la masa total es  $m_1, m_2, \dots, m_i$ . Ahora la fuerza aplicada es siempre la misma, para lo cual se coloca en el platillo un peso determinado, que no varía en la experiencia. Se mide en cada caso las aceleraciones  $a'_1, a'_2, \dots, a'_i$ , que el disco o carrito adquiere bajo la acción de tal fuerza. Si se hace una representación gráfica de estos valores se obtiene una línea curva, pero si colocamos (figura 6, b) en el eje de ordenadas los valores  $1/m_1, 1/m_2, \dots, 1/m_i$ , resulta una línea recta, concluyéndose que la aceleración es proporcional al valor recíproco de la masa, siempre que la fuerza permanezca constante.

En resumen, si por una parte la aceleración es proporcional a la fuerza (para  $m = \text{constante}$  y para  $F = \text{constante}$ ), la aceleración es proporcional a  $1/m$ , podemos escribir:

$$a = \frac{F}{m}$$

o sea,

$$F = ma$$

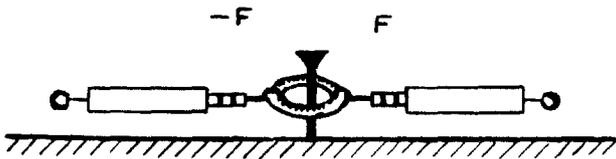
### 3. ACCION Y REACCION

La tercera ley de Newton expresa que las fuerzas surgen como resultado de las interacciones entre los cuerpos y que no se presentan aisladamente, sino por parejas. Puede comprenderse esto fácilmente si pensamos en la interacción entre dos personas metidas en una multitud, presionándose mutuamente: cada una de las personas está empujando y es empujada, y arbitrariamente podemos llamar *acción* a la fuerza que ejerce una persona y *reacción* a la que ejerce la otra.

El tercer principio de la dinámica puede enunciarse de la forma siguiente: "En la interacción de dos objetos cualesquiera—sea esta interacción por contacto, por fuerzas gravitatorias, eléctricas, magnéticas o de cualquier otro tipo—, el primer objeto ejerce una fuerza sobre el segundo, y simultáneamente el segundo ejerce una fuerza sobre el primero; estas fuerzas son *iguales*, pero de *sentidos opuestos*."

Este principio, cuyo recitado simplificado ("a toda acción se opone una reacción opuesta") es habitual en los manuales escolares al uso, implica una serie de cuestiones y actividades escolares como las siguientes:

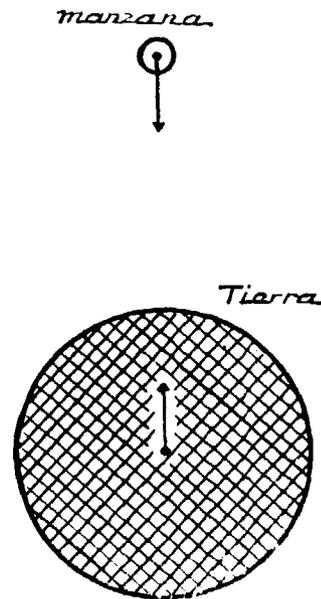
- a) El postulado puede comprobarse experimentalmente de una manera muy sencilla: se clava sobre una mesa un alfiler fuerte y se tira de él con un dinamómetro haciendo una fuerza  $F$ . El principio de acción y reacción expresa que si el dinamómetro ejerce una fuerza  $F$  sobre el alfiler, éste hace también una fuerza  $-F$  sobre el dinamómetro. Esta fuerza puede hacerse visible si rodeamos el alfiler con una anilla: si seguimos tirando hacia la derecha (fig. 7) con el dinamómetro



marcando  $F$ , para que el alfiler quede en el centro de la anilla debemos tirar hacia la izquierda con otro dinamómetro que nos marcará, precisamente, una fuerza  $-F$ .

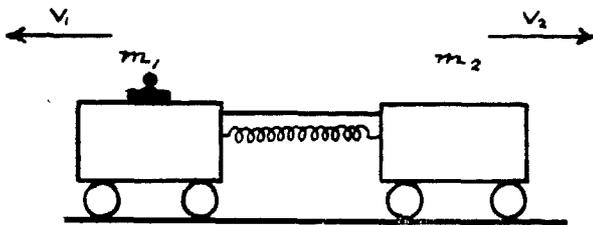
- b) Pero si las fuerzas aparecen siempre por parejas, y son iguales y opuestas, ¿no se neutralizarán mutuamente? ¿Cómo es posible el movimiento de los cuerpos? Si, por ejemplo, decimos que un caballo ejerce una acción sobre un carro y que éste a su vez reacciona sobre el animal con una fuerza opuesta, ¿cómo es posible el arrastre del carro? Debemos pensar que la acción y reacción se ejercen, generalmente, sobre *cuerpos distintos*, lo que permite que adquieran aceleraciones diferentes según sean sus masas. En el ejemplo considerado el caballo efectúa una fuerza echando la tierra hacia atrás (acción), y ésta reacciona con una fuerza igual y contraria que, actuando sobre el conjunto caballo-carro, lo mueve hacia adelante respecto a ella. Ambas fuerzas (de acción y reacción) son iguales en calor absoluto, pero una actúa sobre la tierra y debido a la masa de ésta prácticamente no la mueve; la otra fuerza (de reacción) actúa sobre el carro (de masa pequeña) y le comunica una aceleración apreciable.

- c) Pensemos en las fuerzas que actúan cuando una manzana cae libremente sobre la tierra. Esta ejerce una acción gravitatoria sobre la manzana que ocasiona el peso, pero junto a esta atracción de la tierra sobre la manzana está la atracción reactiva gravitatoria de la manzana sobre la tierra (fig. 8) de igual mag-



nidad por la tercera ley de Newton. Pero estas fuerzas actúan sobre cuerpos diferentes y el resultado es que la manzana, por su pequeña masa, adquiere movimiento.

- d) Puede estudiarse cuantitativamente este principio mediante el experimento de los "móviles a reacción", propuesto inicialmente por Mach. Los dos carritos de la figura 9 tienen ruedas teóricamente sin rozamientos y están inicialmente en reposo sobre una superficie pulimentada; sus masas son, respectivamente,  $m_1$  y  $m_2$ . El resorte que hay entre los carritos, que está comprimido, ejerce una fuerza sobre cada uno de ellos, pero se mantienen unidos por medio de una cuerda. Cuando se quema o corta la cuerda, sobre cada carrito actúa una fuerza de la misma intensidad, pero al ser diferentes las masas la aceleración que adquiere cada uno es distinta: se observa que el carrito de menor masa se mueve más rápidamente que el más pesado.



- e) Normalmente, se considera la *retropropulsión* como un ejemplo de aplicación del principio de acción y reacción. Es más adecuado, no obstante, considerarla más adelante como un caso del principio de conservación de la cantidad de movimiento. Hecha esta aclaración, el profesor puede adelantar algunas experiencias de fácil realización. Cuando se infla un globo de plástico y después se deja escapar el aire, la acción de éste ocasiona una fuerza de reacción que impulsa el globo hacia adelante; el efecto puede observarse mejor si se utiliza un globo con unas aletas de cartón adosadas a su boca, que actúan de lastre y estabilizador. Este es el fundamento de los cohetes y aviones "a reacción". Otro dispositivo que se mueve por retropropulsión es el siguiente. En un tubo ligero y grande (tubo de medicamentos, funda de puro) se hace un orificio en el fondo y se sujeta sobre una base de corcho suficientemente grande. Se echa en el tubo algo de agua y un producto efervescente (Redoxón, Alka-Seltzer, aspiri-

na), se tapa y se lanza sobre agua, en la que queda flotando. Los gases producidos salen por el orificio y el dispositivo se mueve "a reacción" en sentido opuesto a la salida de gases.

#### 4. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La realización de las experiencias anteriores debe conseguir el establecimiento y admisión razonada de los conceptos generales de los que estas experiencias son ejemplos concretos. La enseñanza activa supera la mera repetición de experiencias: implica fundamentalmente la actividad de los alumnos. La física está en las cosas, indudablemente, pero sus principios y leyes generales son consecuencia de un proceso mental. Admitida una ley general, no tiene sentido indagar exhaustivamente su comprobación experimental, ya que resulta imposible ensayar todos los ejemplos que la realidad física nos presenta. Pero debe entenderse que sería suficiente encontrar un solo ejemplo, una sola contradicción confirmada y repetida que vulnerara el principio, para que éste dejara de ser válido, y en este sentido debe actuar la acción metodológica del profesor.

En las cuestiones tratadas sobre los principios de la dinámica, los alumnos, al término de su educación básica, deben haber adquirido los conceptos que pueden expresarse de la siguiente manera o en términos parecidos:

*Primera ley:* Un cuerpo permanece en estado de reposo o de velocidad constante cuando se le deja solo (ninguna fuerza exterior actúa sobre él). Llamando aceleración a la variación o cambio de velocidad en el transcurso del tiempo, podemos escribir matemáticamente:

$$a = 0, \text{ cuando } F_{\text{total}} = 0.$$

*Segunda ley:* La fuerza total que actúa sobre un cuerpo de masa  $m$  imprime una aceleración  $a$  según la relación

$$F_{\text{total}} = ma$$

(Obsérvese que la primera ley está implícita en esta ecuación.)

*Tercera ley:* Cuando dos cuerpos interaccionan, la fuerza que actúa sobre el primero debida al segundo es igual y opuesta a la fuerza que actúa sobre el segundo debida al primero:

$$F_{\text{A debida a B}} = F_{\text{B debida a A}}$$