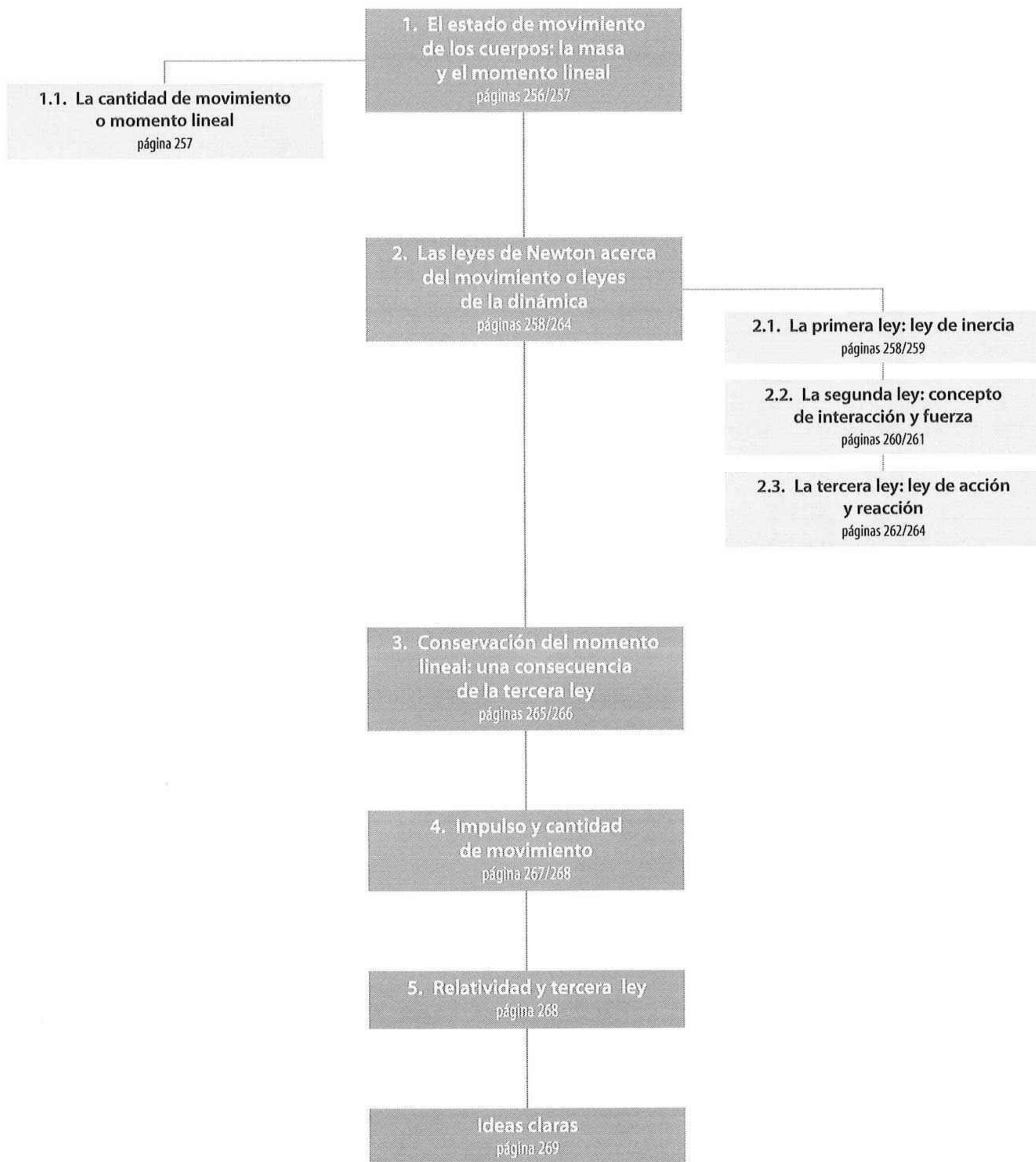


10

Las leyes de la dinámica

E S Q U E M A D E L A U N I D A D



Cuestiones previas (página 255)

1. Si sobre un cuerpo en movimiento dejan de actuar todas las fuerzas, ¿acabará parándose?

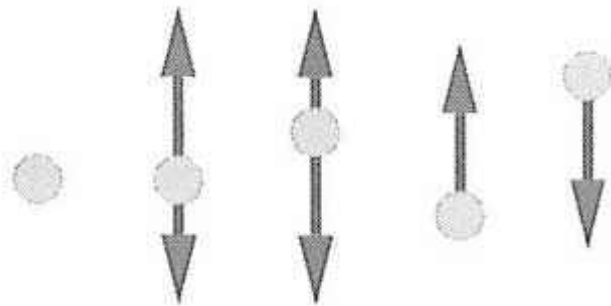
Lo más común es que la mayoría de alumnos responda afirmativamente a esta cuestión, lo que demuestra un desconocimiento o, al menos, una falta de asimilación de la ley de inercia. Si es así, resultará indicativo de que tendremos que trabajar especialmente la ley de inercia desde el punto de vista conceptual. Es una ley que, pese a su aparente sencillez, requiere una abstracción de la realidad que escapa a muchos alumnos, tan aferrados a la comprobación empírica de que los cuerpos en movimiento acaban parándose (un objeto empujado por el suelo deja de moverse cuando dejamos de empujarlo). Al igual que en tiempos pregalileanos, la fricción es la protagonista oculta (nuestros alumnos no ven en ella una fuerza más actuando sobre el cuerpo).

2. Para que un cuerpo se mantenga indefinidamente en movimiento, ¿es necesario que actúe una fuerza sobre él?

Esta pregunta incide en lo anterior, es decir, en la percepción de la mayoría de los alumnos de que solo es posible el movimiento indefinido si hay una fuerza actuando de modo permanente. No perciben como verosímil la ley de inercia.

3. Un objeto ha sido lanzado verticalmente hacia arriba. Indica qué diagramas representan las fuerzas que actúan en cada una de las siguientes situaciones (no hay resistencia del aire).

- a) Mientras el objeto asciende.
- b) Cuando alcanza su máxima altura.
- c) Mientras el objeto desciende.



Esta es una pregunta muy clarificadora para darse cuenta de la gran confusión que persiste entre los alumnos, que, a pesar de haber estudiado los conceptos de velocidad o fuerza en cursos anteriores, siguen mezclándolos y sin diferenciar claramente uno de otro. Muchas respuestas tienen que ver con lo apuntado en las cuestiones anteriores; la necesidad de una fuerza que «tire» del cuerpo en la dirección en que se mueve.

Muchos elegirán el primer diagrama (ausencia de fuerzas) para representar el punto de máxima altura, el segundo diagrama para el ascenso y el tercero para representar el descenso. Son pocos los que elegirán como única respuesta la que es correcta en relación a todas las situaciones; es decir, el último diagrama, donde la única fuerza que actúa sobre el cuerpo es la gravitatoria (su peso), que explica el movimiento desacelerado en ascenso y acelerado en descenso.

Actividades (páginas 256/268)

1. Si tuvieras que elegir, ¿a cuál de los dos animales antes mencionados frenarías: a la hormiga o al elefante? ¿Por qué razón?

Véase la respuesta a la actividad 3.

2. Si la velocidad es la misma, ¿qué distingue un movimiento del otro?

Véase la respuesta a la actividad 3.

3. ¿Qué magnitud o magnitudes consideras necesario tener en cuenta para describir correctamente el estado de movimiento de un cuerpo?

El único motivo de las cuestiones 1, 2 y 3 es que el alumnado deduzca con antelación que el estado de movimiento de un cuerpo no puede describirse únicamente en función de la velocidad, sino que debe contemplarse la masa juntamente con la velocidad.

4. En un saque de tenis, una pelota de 200 g es lanzada a 225 km/h.

a) ¿Cuál es su momento lineal (expresado en unidades del sistema internacional) en el instante en que sale despedida?

b) Si el impacto con la malla de la raqueta dura 0,003 5 s, ¿cuál es la rapidez con que ha cambiado el momento lineal? ¿En qué unidades se mide?

c) A la vista de dichas unidades, ¿se te ocurre a qué puede equivaler esa rapidez con la que cambia el momento lineal?

Expresando la masa y la velocidad en unidades del SI, $m = 0,2 \text{ kg}$ y $v = 62,5 \text{ m/s}$, tenemos que:

a) $p = mv = 12,5 \text{ kg m/s}$

b) La rapidez con que cambia el momento lineal es:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = 3\,571,4 \text{ kg m/s}^2$$

c) Como puede comprobarse, las unidades en que se mide la rapidez con que cambia el momento lineal son unidades de masa \times aceleración que, como es bien sabido, equivale a la fuerza que ha actuado. De esta equivalencia se da cumplida respuesta en el epígrafe 2.2. También se recordará que esta equivalencia ya fue considerada en la resolución de la actividad 6, apartado b), de la UNIDAD 8 de cinemática.

5. ¿Crees que nuestro laboratorio particular, la Tierra, es un sistema de referencia inercial en sentido estricto? ¿Por qué?

Es evidente que no, pues no cumple con ninguna de las condiciones que caracterizan a un sistema inercial. Sin embargo, para analizar fenómenos en intervalos de tiempo breves, podemos hacer la aproximación de considerarla como sistema inercial.

6. Imagina por un momento que te hallas en el interior de una nave espacial sin ventanas y, por tanto, sin referencias visuales externas, que está cayendo verticalmente hacia Tierra:

a) ¿Qué crees que marcaría una balanza que pusieras bajo tus pies?

b) Si de tu bolsillo sacarás unas llaves y las soltaras para que cayeran libremente, ¿qué ocurriría? ¿Cumplirían, según tu apreciación, con la ley de inercia?

c) ¿Considerarías necesario someter a revisión la definición dada de sistema inercial? Si es así, trata de complementar la definición.

a) No marcaría peso alguno, pues todos los objetos del interior de la nave en caída libre estarían dotados de la misma aceleración. Estarían en situación relativa de «ingravidez».

b) Permanecerían en reposo relativo con respecto a la persona que efectúa la experiencia. Es decir, estarían cayendo exactamente con la misma aceleración que el observador

en el interior de la nave, por lo que su posición relativa con respecto a este no cambia. Para el observador del interior de la nave, las llaves quedarían en reposo y cumplirían a la perfección con la ley de inercia, pues sobre ellas no se ha ejercido fuerza alguna (se han soltado o abandonado sin impulso).

- c) Según la mecánica clásica, un sistema inercial sería aquel en el que se cumplen las leyes del movimiento enunciadas por Newton. Sin embargo, aquí observamos que un sistema en caída libre, o acelerado gravitacionalmente, se comporta para el observador de ese sistema como si fuese inercial. La pregunta es: ¿podría dilucidar el observador de ese sistema si su sistema está acelerado o no? Es más, ¿podría dilucidar si está en movimiento?

Así pues, habría que admitir que un sistema de coordenadas sometido a un campo gravitacional se comporta como un sistema inercial. Pero hay que precisar que ese sistema es un sistema inercial limitado en espacio y tiempo (es decir, sería inercial mientras dura la caída). Se trataría, pues, de un sistema inercial «local». Esta es la base de la teoría general de la relatividad enunciada por Einstein. Además, para que los ejemplos expuestos se cumplan, hemos de asumir que la masa inercial y la gravitacional son, en realidad, la misma cosa. A este respecto, sugerimos la lectura de las páginas 181-191 del libro *La física: aventura del pensamiento*, de A. Einstein y L. Infeld (Losada, Buenos Aires, 1982), en el que se exponen, de manera muy divulgativa, la cuestión de la relatividad general y el problema de «dentro y fuera del ascensor» en caída libre.

- 7 Un cuerpo de 5 kg se mueve según la ecuación:

$$\vec{r} = 3t^2\vec{i} - 2t\vec{j} + 5\vec{k} \text{ m}$$

Calcula la fuerza que actúa sobre él e indica en qué dirección lo hace.

Dado que la masa permanece constante, podemos utilizar la expresión:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}, \text{ donde } \vec{a} = d^2\vec{r}/dt^2$$

En consecuencia:

$$\vec{F} = 30\vec{i} \text{ N (actúa en la dirección del eje X)}$$

- 8 Un cuerpo de 10 kg se encuentra inicialmente en la posición $\vec{r}_0 = 2\vec{i} + 5\vec{j}$ y sobre él comienza a actuar una fuerza constante $\vec{F} = 8\vec{i}$ N. Determina cuál será la ecuación de posición en función del tiempo y calcula el desplazamiento efectuado bajo la acción de dicha fuerza en los diez primeros segundos.

En otras unidades hemos insistido en la necesidad de usar la menor cantidad posible de fórmulas con el fin de simplificar los razonamientos de los problemas. El alumnado recuerda que la ecuación general de un movimiento es

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + 1/2 \vec{a} t^2$$

Por otro lado, $\vec{F} = m \vec{a}$, de donde $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$

Calculando primero la aceleración e introduciendo todos los datos en la primera ecuación obtenemos:

$$\vec{r}(t) = \left(2 + \frac{2}{5} t^2\right)\vec{i} + 5\vec{j} \text{ m}$$

El desplazamiento efectuado en los diez primeros segundos es:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}(10) - \vec{r}(0) = (42\vec{i} + 5\vec{j}) - (2\vec{i} + 5\vec{j}) = 40\vec{i} \text{ m}$$

- 9 Sabiendo que la masa de la Luna es 0,012 veces la de la Tierra, ¿cómo es la aceleración que adquiere la Luna en comparación con la que adquiere nuestro planeta a causa de su interacción mutua?

La fuerza que actúa sobre ambos cuerpos celestes tiene el mismo valor. La aceleración que esta fuerza comunica a la Tierra vale:

$$a_T = \frac{F}{m_T}$$

La aceleración que esta fuerza comunicará a la Luna es:

$$a_L = \frac{F}{0,012 m_T} = 83,3 a_T$$

Es decir, la aceleración que la fuerza comunica a la Luna es unas 83 veces mayor que la que comunica a la Tierra.

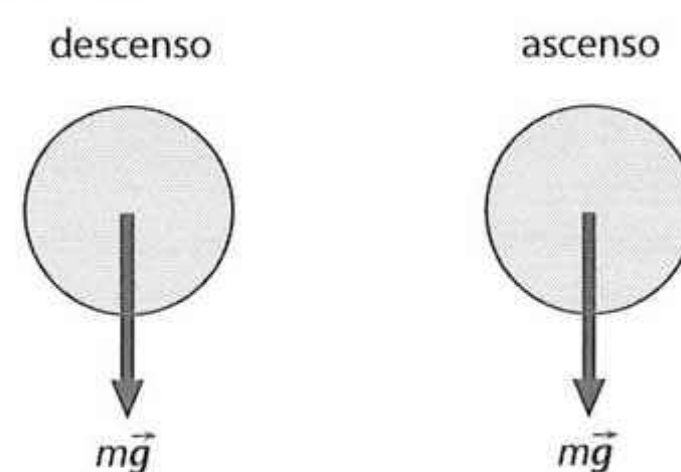
- 10 Pon ejemplos que ilustren el principio de acción y reacción.

La interacción Tierra-Luna o Sol-Tierra, dos personas sobre patines que se empujan, dos barcas que chocan en el agua, un avión a reacción, una manguera abierta suelta en el suelo, etcétera.

- 11 Dibuja los esquemas de las fuerzas que actúan sobre una pelota de goma que cae desde cierta altura a un suelo duro y luego rebota, en los siguientes momentos:

a) Descenso. b) Impacto. c) Ascenso.

En el descenso y ascenso solo actúa la fuerza gravitacional sobre la pelota (su peso), si despreciamos la existencia de fricción con el aire:



La situación es algo más compleja durante el impacto. La pelota de goma se deforma cuando choca contra el suelo y, en realidad, el suelo también. Si este es rígido, podemos imaginarlo como un muelle con una gran fuerza restauradora frente a pequeñas deformaciones. Al deformarse la pelota, esta ejercerá una fuerza restauradora que actúa sobre el suelo. Por tanto, sobre el suelo actúan dos fuerzas: una igual en valor al peso de la pelota y otra que es la fuerza restauradora que la pelota ejerce sobre el suelo. Si este es rígido, responde con una reacción \vec{N} (que actúa sobre la pelota) igual en valor a la suma del peso más la fuerza restauradora y que actúa verticalmente hacia arriba.

En consecuencia, podemos decir que la fuerza neta que actúa sobre la pelota es igual a la fuerza restauradora si el suelo es rígido. Esta fuerza neta está dirigida hacia arriba y es la causante de que la pelota se eleve de nuevo.

La complejidad, en este caso, radica en que la fuerza restauradora es variable en función de la deformación producida: es máxima cuando la pelota está totalmente deformada y cero cuando recupera su forma. Así pues, el diagrama en el momento del impacto será:

