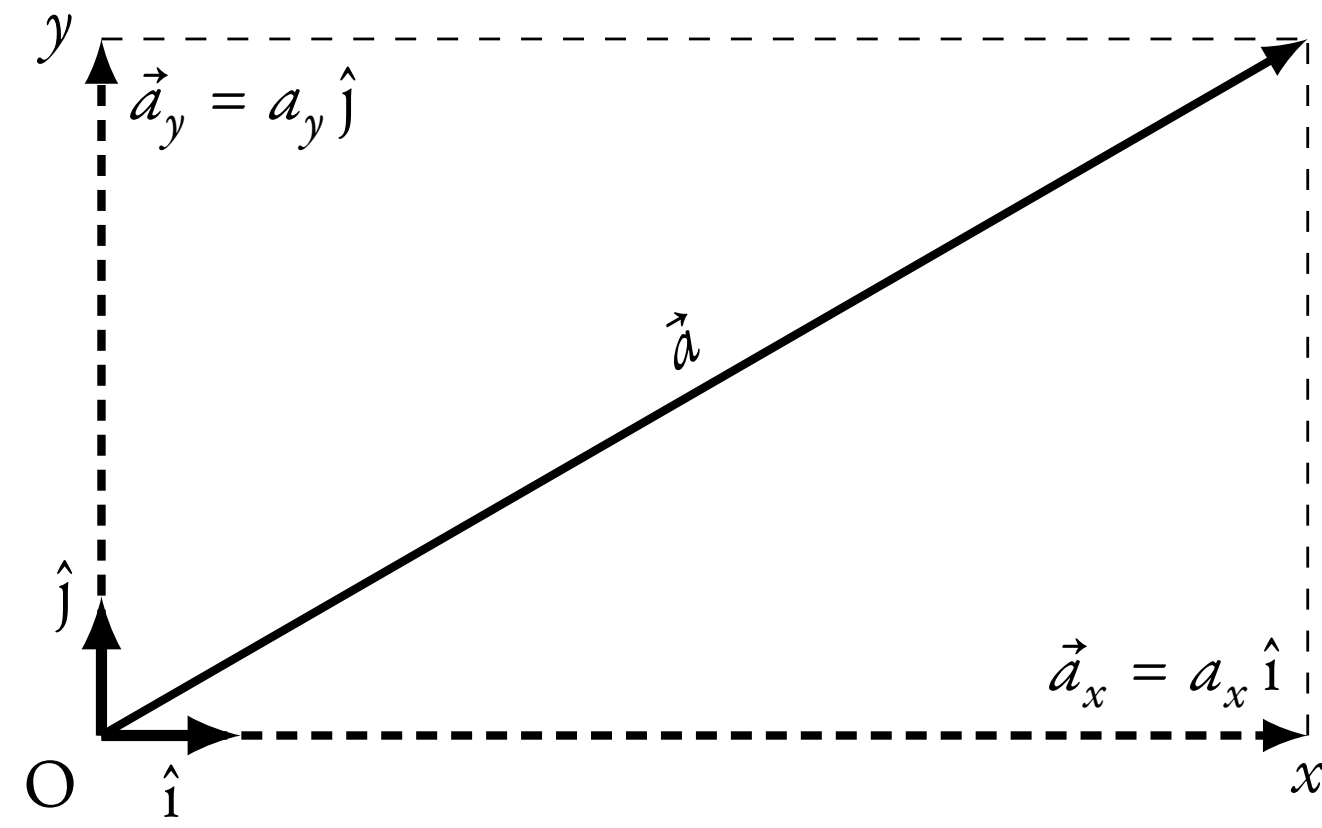


## Naturaleza vectorial de las fuerzas

Las **fuerzas** son **magnitudes vectoriales**, lo que significa que quedan definidas por un **vector**, del cual hay que definir su:



**Módulo** Longitud del segmento.

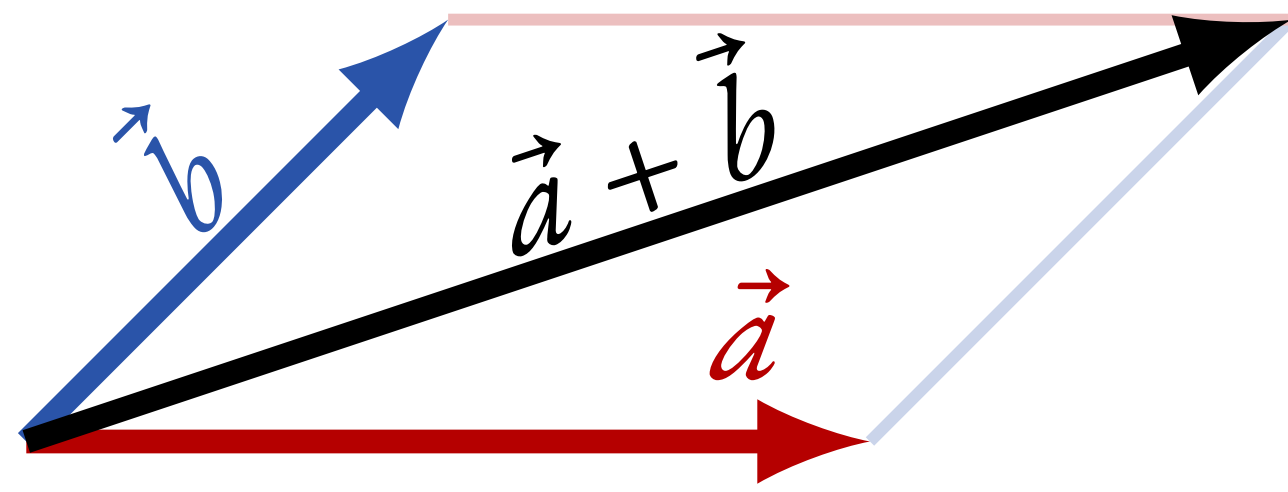
**Dirección** Recta que lo contiene.

**Sentido** Dado por la punta de la flecha.

En dos dimensiones, un vector se puede escribir como  $\vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j}$ , donde  $\hat{i}$  y  $\hat{j}$  son vectores unitarios (módulo = 1) a lo largo de los ejes  $x$  e  $y$ . El módulo de  $\vec{a}$ ,  $|\vec{a}|$ , se calcula como (teorema de Pitágoras)  $|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$ .

### Suma o resta de vectores

Gráficamente, dibujando un vector a continuación del otro y uniendo el origen con el punto final:



O analíticamente, componente a componente:

$$\vec{a} + \vec{b} = (a_x + b_x) \hat{i} + (a_y + b_y) \hat{j}$$

## Leyes de Newton

### 1ª ley (ley de la inercia)

“Todo cuerpo preserva su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme salvo que actúe una fuerza sobre él.”

### 2ª ley (ley fundamental de la dinámica)

“El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza ejercida y se hace en la dirección de la línea recta en que se ejerce la fuerza.”

Matemáticamente, se escribe como

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (\text{la aceleración es proporcional a la fuerza neta})$$

En el SI la fuerza se mide en Newton (N):  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$ .

### 3ª ley (ley de la acción-reacción)

“Para toda acción siempre hay una reacción igual y opuesta.”

Si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre otro cuerpo B, éste ejercerá sobre A una fuerza igual y de sentido contrario ( $\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$ ).

## Fuerzas de especial interés

### Peso $\vec{P}$

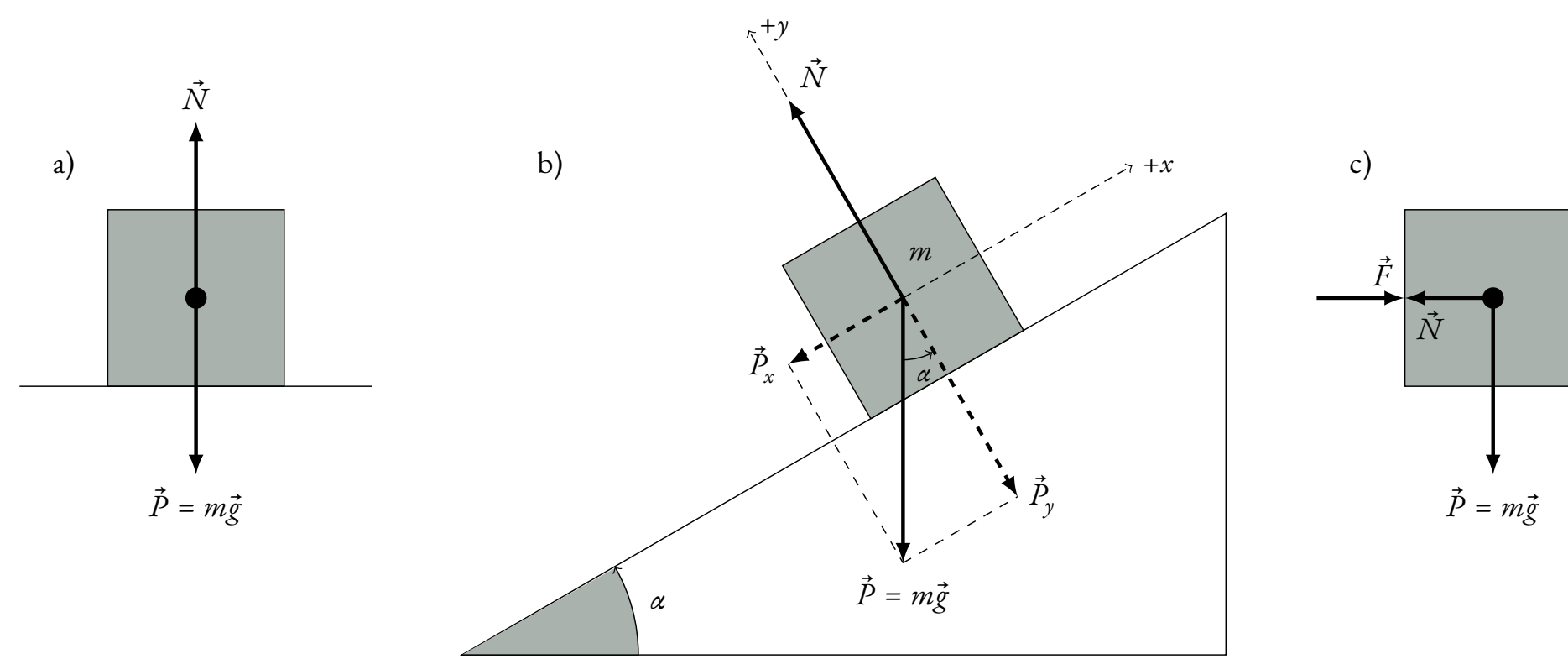
El **peso** es la fuerza con la que la Tierra atrae a un objeto. Se calcula como:

$$\vec{P} = m\vec{g},$$

donde  $m$  es la masa del objeto y  $\vec{g}$  es la aceleración de la gravedad. Siempre se dirige hacia el centro de la Tierra (hacia abajo en la mayoría de los casos).

### Normal $\vec{N}$

También llamada fuerza de **reacción**, se define como la fuerza que ejerce una superficie sobre un cuerpo apoyado sobre ella. Esta es de igual magnitud y dirección, pero de sentido contrario a la fuerza ejercida por el cuerpo sobre la superficie.



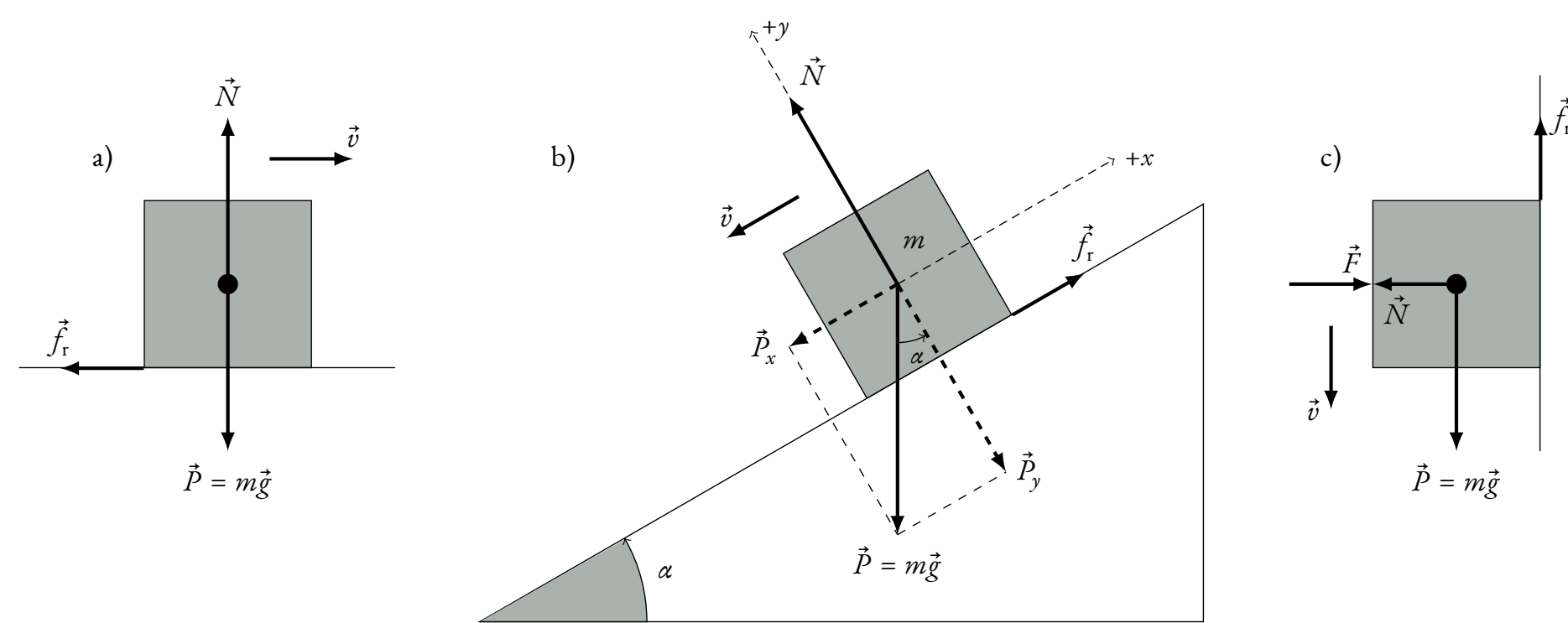
**Figure 1.** Fuerza normal en a) una superficie horizontal, b) un plano inclinado y c) una superficie vertical.

### Rozamiento $\vec{f}_r$

La **fuerza de rozamiento** es la fuerza que existe entre dos superficies en contacto, oponiéndose siempre al movimiento relativo entre ambas superficies. La fuerza de rozamiento es proporcional a la normal  $N$ :

$$f_r = \mu N,$$

donde  $\mu$  es el coeficiente de rozamiento.



**Figure 2.** Fuerza de rozamiento en a) una superficie horizontal, b) un plano inclinado y c) una superficie vertical.

### Centrípeta $\vec{f}_c$

Se llama **fuerza centrípeta** a la fuerza o a la componente de la fuerza que actúa sobre un objeto en movimiento sobre una trayectoria curvilínea y que está dirigida hacia el centro de curvatura de la trayectoria. Su módulo se calcula a partir de la **aceleración centrípeta**, haciendo uso de la **2ª ley de Newton**:

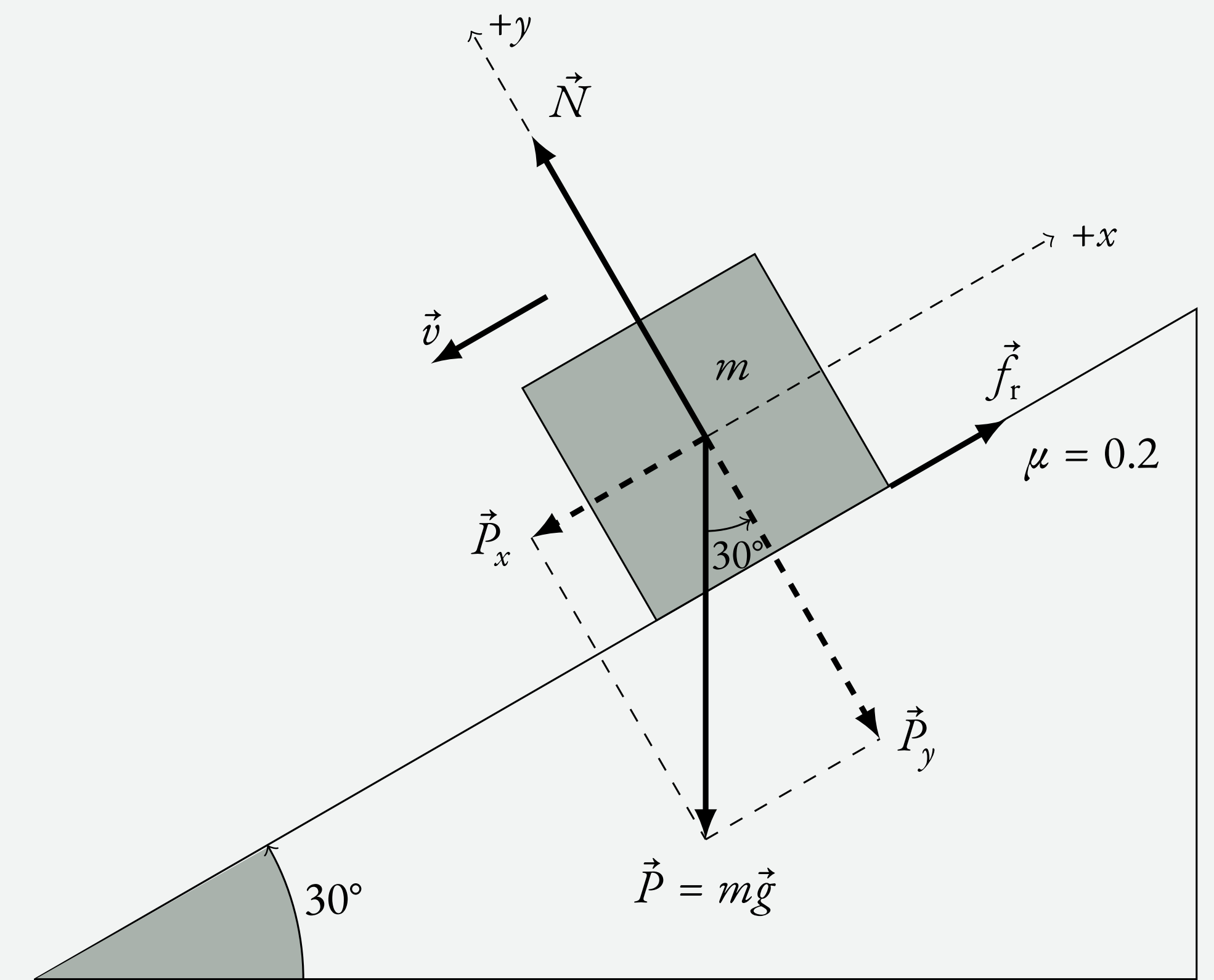
$$f_c = ma_c = m \cdot \frac{v^2}{R} = \frac{mv^2}{R}$$

## Ejemplo

Un cuerpo baja por un plano inclinado  $30^\circ$  con un coeficiente de rozamiento  $\mu = 0.2$ . Calcula la velocidad que llevará y el espacio recorrido al cabo de 5 s, si inicialmente estaba en reposo.

### Solución

Lo primero hacemos un dibujo representando la situación:



Las **fuerzas** que actúan son:

- Peso  $\vec{P} = -P_x \hat{i} - P_y \hat{j}$ , donde:

$$P_x = mg \sin \alpha = 9.8m \sin 30^\circ = 4.9m \text{ N}$$

$$P_y = mg \cos \alpha = 9.8m \cos 30^\circ = 4.9\sqrt{3}m \text{ N}$$

- Normal  $\vec{N} = N \hat{j}$
- Fuerza de rozamiento  $\vec{f}_r = \mu N \hat{i} = 0.2N \hat{i}$

Escribimos la **2ª ley de Newton** para cada **componente**:

$$\text{Componente } x \rightarrow f_r - P_x = ma \quad (1)$$

$$\text{Componente } y \rightarrow N - P_y = 0 \quad (2)$$

Despejando  $N = P_y = 4.9\sqrt{3}m$  de (2) y sustituyendo en (1), utilizando además que  $f_r = 0.2N$  y que  $P_x = 4.9m$ :

$$0.2 \cdot 4.9\sqrt{3}m - 4.9m = ma \rightarrow a = -3.2 \text{ m/s}^2$$

$$\vec{a} = -3.2 \hat{i} \text{ m/s}^2$$

La **velocidad** que llevará a los 5 s la calculamos con la **ecuación de la velocidad**:

$$v = v_0 + at = 0 - 3.2 \cdot 5 = -16.0 \text{ m/s}$$

$$\vec{v} = -16.0 \hat{i} \text{ m/s}$$

Para el **espacio recorrido** podemos utilizar la **ecuación del movimiento**:

$$\Delta x = |x - x_0| = \left| v_0 \cdot t + \frac{1}{2}at^2 \right| = \left| 0 - \frac{1}{2} \cdot 3.2 \cdot 5^2 \right| = 40.0 \text{ m}$$