



Introducción al Conocimiento de la Física y la Química

Ciclo Introductorio- DCyT

Material teórico de apoyo

Bloque Física

Autores:

Lic. Badino M, Dra. Bocai N., Lic. Lanzillotta, S., Dra. Panelo L., Ing. Rabey M., Dr. Vilouta Rando N., Lic. Yasynska O.; Lic. Capello, M.

Programa analítico:

UNIDAD 4: MOVIMIENTO DEL PUNTO MATERIAL

4.1 Algunos conceptos que describen el movimiento: sistema de referencia, sistema de coordenadas, posición, desplazamiento, trayectoria, distancia recorrida y velocidad.

4.2 El concepto de fuerza: representación y clasificación. Leyes de Newton. Aplicaciones de las leyes de Newton. Evolución de las teorías sobre la mecánica a través del tiempo.

Bibliografía obligatoria

- Bibliografía Nivel Secundario/Preuniversitario obligatoria (1)
- Iparraguirre, L. (2009). MECÁNICA BÁSICA. FUERZA Y MOVIMIENTO. Colección Ciencias Naturales y Matemática. Ministerio de Educación de la Nación, Argentina.
- Tipler, P. FÍSICA PREUNIVERSITARIA. Ed. Reverté, España.
- Serway, R y Faughn, J. FÍSICA PARA BACHILLERATO, Vol. 1. Thomson Learning, USA.

Bibliografía de consulta

- Resnick, R.; Halliday, D. FÍSICA Tomo I. Ed. C.E.C.S.A, México.
- Resnick, R.; Halliday, D.; Kane, K. FÍSICA Tomo I. Ed. C.E.C.S.A, México.
- Sears, F; Zemansky, M; Young, H. FÍSICA UNIVERSITARIA. Ed. Addison Wesley Iberoamericana, U.S.A.
- Serway, R.; Jewett J. FÍSICA Tomo I. Ed. Thomson, México.
- Tipler, P.- FÍSICA. Tomo I. Ed. Reverté, España.

(1) En la Bibliografía no se consigna el año de algunos textos ya que se consideran *apropiadas las diferentes ediciones*.

Introducción:

En esta unidad intentaremos plantear una forma de analizar el movimiento de los cuerpos y el efecto que genera la acción de las fuerzas sobre estos. Serán cuestiones básicas que servirán para comenzar a construir un lenguaje común que se irá ampliando y profundizando en las próximas materias. En particular, desarrollaremos algunos aspectos de la física newtoniana.

Si bien los temas que veremos no son complicados, trabajaremos arduamente para comprenderlos y manejarlos de manera correcta, principalmente porque el lenguaje de la física newtoniana es muchas veces similar a nuestro lenguaje cotidiano, en el sentido que comparten gran cantidad de palabras, como “movimiento”, “fuerza”, “velocidad”, “posición”, etc. Pero la dificultad está en que todas estas palabras poseen un significado distinto y particular en el contexto de la Física, prestándose así a confusión. Por lo tanto, cuando nosotros describimos un movimiento en el lenguaje cotidiano, probablemente no signifique lo mismo que en el lenguaje que utilizaremos en física; o bien leeremos una descripción hecha desde la física newtoniana y nos parecerá bastante contra-intuitiva, al estar acostumbrados al uso que normalmente le damos a los términos utilizados.

Buena parte del trabajo en esta unidad estará dedicado a poder describir fenómenos relacionados al movimiento con un lenguaje particular, haciendo uso de palabras cotidianas, pero que hacen referencia a ideas para nada cotidianas. Para ello estaremos modelizando, construyendo y manipulando representaciones del mundo que nos rodea, analizándolas y discutiendo qué tan bien -o no- estas se adaptan y sirven para describir los objetos y fenómenos que nos interesa comprender.

Unidad 4.1

Contenidos: Algunos conceptos que describen el movimiento. Sistema de referencia. Sistema de coordenadas. Posición. Trayectoria. Desplazamiento. Velocidad.

En Física decimos que un cuerpo se **mueve**¹ cuando **cambia de posición**, con respecto a un **sistema de referencia**. Como el movimiento depende del sistema de referencia, podemos decir que el movimiento es **relativo**. Es decir, el movimiento de un cuerpo no se puede definir en el vacío, sin ninguna otra referencia más que sí mismo. Para hablar sobre el movimiento de un cuerpo y describirlo, tendremos que decir en relación o con respecto a qué lo estamos analizando.

Pero **¿qué es un sistema o marco de referencia (SR)?**. Podemos definirlo como un cuerpo, o algún conjunto determinado de cuerpos, que tomaremos como referencia para describir el movimiento. De esta manera, el entorno que rodea a un cuerpo -como la estación de tren en el ejemplo de la actividad introductoria de la guía de actividades- puede ser un sistema de referencia, para estudiar el movimiento del tren. Pero también puede tomarse como sistema de referencia al tren, cuando queremos estudiar por ejemplo el movimiento de un pasajero dentro del mismo.

A todo SR se le puede asociar un sistema de coordenadas (SC). El SC está compuesto por ejes cartesianos y una escala de longitudes, que nos permitirá establecer posiciones y determinar un sentido (+ o -)

¹ En esta unidad estudiaremos solamente el movimiento de traslación.

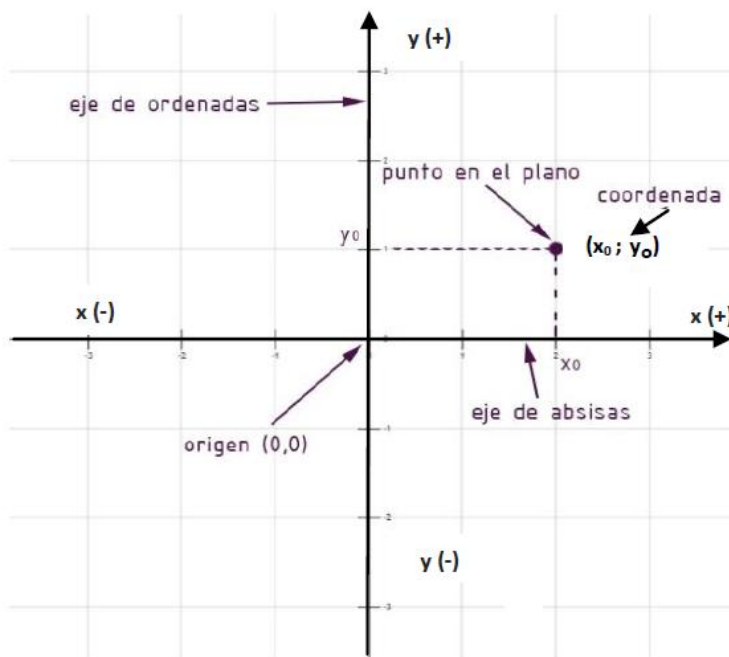


Figura 1.

El **sistema de coordenadas** cartesianas que se utilizará en este curso será en dos dimensiones (x ; y). Está formado por dos rectas perpendiculares entre sí, llamadas ejes de coordenadas, que se cortan en un punto llamado origen "O", de coordenadas $(0;0)$, como se ve en la Figura 1.

Es importante destacar que la elección del sistema de referencias es completamente arbitraria. Es por ello que cuando queramos analizar el movimiento de un cuerpo, siempre tendremos que determinar el SR que vamos a utilizar. Esto será fundamental, ya que dependiendo del SR que elijamos, el movimiento del cuerpo variará. Una vez que hayamos definido un sistema de referencia y le hayamos asociado un sistema de coordenadas, podremos hacer uso de una serie de magnitudes -escalares y vectoriales- para describir y caracterizar el movimiento de un cuerpo.

Algunas magnitudes asociadas al movimiento

Distancia recorrida, desplazamiento y posición

Una de las magnitudes que nos permitirán caracterizar el movimiento y tal vez sea más intuitiva, es la **distancia** recorrida. La misma hace referencia a la longitud del camino recorrido por un móvil. La **trayectoria** es el camino que describe el objeto en el espacio; es decir, la curva formada por todas las sucesivas posiciones que va teniendo el móvil. La distancia es una magnitud escalar, por lo que para expresarla, nos alcanzará con utilizar un valor numérico expresado en unidades de longitud, que podrán ser metros y sus unidades derivadas del Sistema Internacional (SI). Así, podemos decir que la distancia recorrida por

David Thoreau cada mañana desde su casa hasta la laguna de Walden², depende del camino específico que decidiera tomar. Si sigue la Trayectoria 1, la distancia recorrida es de 8 Km, pero si sigue la Trayectoria 2, la distancia recorrida es de 7 km. Ésto se puede observar en la Figura 2.

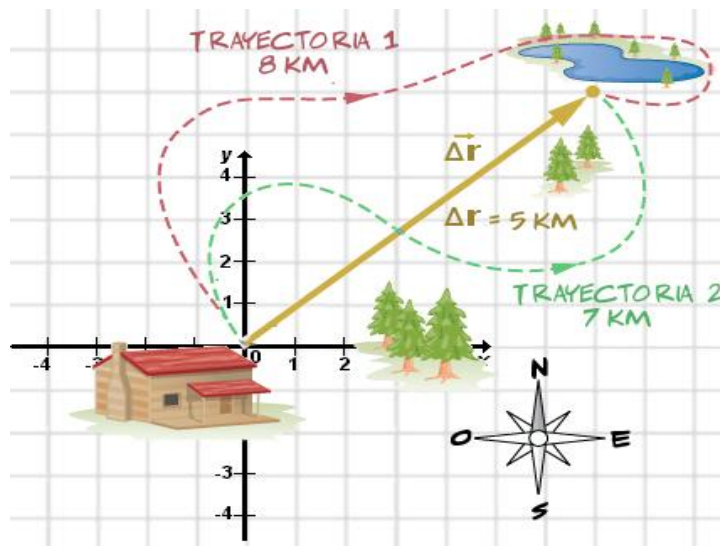


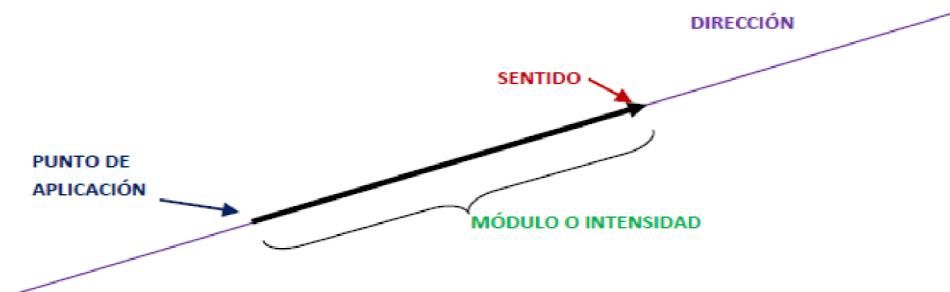
Figura 2.

Otra magnitud que podemos asociar al movimiento es el desplazamiento. El **desplazamiento** es una magnitud vectorial definida como el cambio de posición de un móvil. Desde el punto de vista gráfico, lo podemos describir trazando un vector con origen en la posición inicial del cuerpo y extremo en la posición final. Para el ejemplo que recién mencionamos sobre Thoreau, su desplazamiento es el que podemos ver en la imagen anterior trazado como un vector (la flecha marrón) con origen en la cabaña (posición inicial) y la laguna (posición final), y simbolizado como $\Delta \vec{r}$. Podemos señalar una serie de particularidades del desplazamiento que lo diferencian de la distancia recorrida. En primer lugar, como se puede ver en la imagen, *el desplazamiento es independiente de la trayectoria que haya seguido el cuerpo* y de la distancia recorrida. Es decir, sin importar que Thoreau haya decidido ir a la laguna por el camino de 8 km o por el de 7 km, en ambos casos su desplazamiento habría sido de 5 km. En segundo lugar, mientras que la distancia recorrida es una magnitud escalar, el desplazamiento es una magnitud vectorial. En tercer y último lugar, puede ocurrir que un cuerpo se mueva, pero que no se haya desplazado. ¿Cómo es esto? Imaginen que Thoreau parte de su cabaña camino a la laguna, tomando el camino de 8 km, se pasa la mañana admirando el paisaje en la orilla y unas horas después decide volver su cabaña a cocinar, por el camino de 7 km. En ese caso, podemos decir que en el período de tiempo en el que Thoreau partió de la cabaña y volvió para cocinar, no hubo desplazamiento (ya que su posición inicial y final coinciden, es decir, volvió al punto de partida). Pero, claro está, sí se movió, ya que recorrió una distancia de -entre la ida y la vuelta- 15 km. Dicho de otra forma, siempre que en un período de tiempo la posición inicial y final de un cuerpo sean las mismas, el desplazamiento de un cuerpo habrá sido nulo, incluso cuando éste haya recorrido una determinada distancia.

² Henry David Thoreau (1817-1862) fue un escritor y agrimensor estadounidense que vivió durante dos años en los bosques de Concord, Massachusetts, en una cabaña construida por él mismo, a orillas del lago Walden.

MAGNITUDES VECTORIALES Y CARACTERIZACIÓN DE VECTORES

El **vector** es otra herramienta matemática de muchísima utilidad en Física. En matemática, un vector se define como un segmento orientado y su representación gráfica es una flecha. Los componentes de un vector, son:



Punto de aplicación: origen del vector

Dirección: recta sobre la cual está aplicado el vector

Sentido: dado por la flecha

Módulo o intensidad: medida del vector

Los vectores nos permiten definir las **magnitudes vectoriales**.

Las magnitudes vectoriales son aquellas que requieren de un vector para quedar perfectamente determinadas.

Por ejemplo, cuando decimos que tal objeto se desplazó 4m (**módulo o intensidad**), es necesario decir hacia dónde (**dirección** y **sentido**) y desde donde (**punto de aplicación**), para que ese desplazamiento quede perfectamente determinado.

Otros ejemplos de magnitudes vectoriales que trabajaremos en este bloque son: *posición*, *velocidad*, *aceleración* y *fuerza*.

En este video podrás repasar los conceptos sobre magnitudes vectoriales y escalares con ejemplos ilustrativos.

https://drive.google.com/file/d/1a-H_KcMpkzjMlIXI56lphBPHQyYz8G5q/view?usp=sharing

Algo menos obvio, pero no por eso menos importante, es que también la posición es una magnitud vectorial. La **posición** es la ubicación de un cuerpo en relación a un sistema de referencia. Para definir a esta, necesitaremos decir no sólo a qué distancia se encuentra el objeto que queremos ubicar de aquello que tomamos como referencia, sino también hacia dónde. En el caso que usemos sistemas de coordenadas cartesianos, nuestra referencia principal será el punto O, el origen del sistema. Luego de haber determinado un sistema de referencia (SR) y un sistema de coordenadas (SC), podremos especificar la posición de un cuerpo con un vector que tendrá su origen en el origen de coordenadas y extremo en el punto donde está posicionado el cuerpo en estudio.

Siguiendo con el ejemplo anterior, supongamos que queremos describir la posición de Thoreau en dos momentos distintos durante su viaje a la laguna por el camino de 7 km:

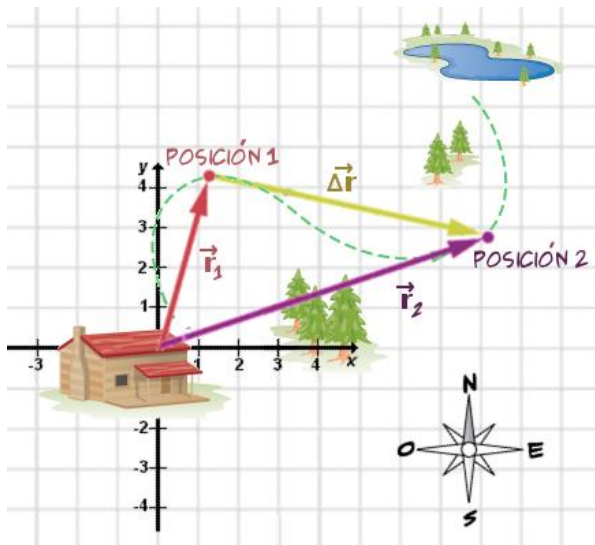


Figura 3.

Como pueden observar en la Figura 3, ambas posiciones (1 y 2) son representadas con los vectores \vec{r}_1 y \vec{r}_2 respectivamente. Presten atención que estos vectores no indican desplazamiento, si no simplemente la posición de Thoreau en distintos tiempos respecto al origen de coordenadas (que ubicamos junto a la cabaña). El desplazamiento se indica con el vector $\vec{\Delta r}$ que tiene origen en la posición 1 y extremo en la posición 2.

Rapidez y velocidad

En el lenguaje cotidiano, se suelen usar indistintamente los términos rapidez y velocidad, pero para la Física son conceptos diferentes.

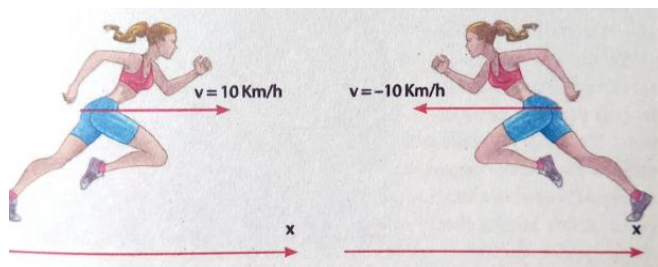
Físicamente, podemos decir que la **rapidez** nos da una idea de qué tan rápido se desplaza un móvil, sin aclarar en qué dirección lo hace. Es por ello que la rapidez es una magnitud escalar. En la vida cotidiana la rapidez de un móvil suele variar a lo largo de tiempo analizado, por lo que convenimos en hablar de rapidez media (o promedio) y matemáticamente se puede expresar como:

$$\text{rapidez media} = \frac{\text{distancia recorrido}}{\text{tiempo empleado}}$$

La **velocidad** en cambio, es una magnitud vectorial que expresa tanto la rapidez del movimiento, como su dirección y sentido. También hablaremos de velocidad media, y su expresión matemática es:

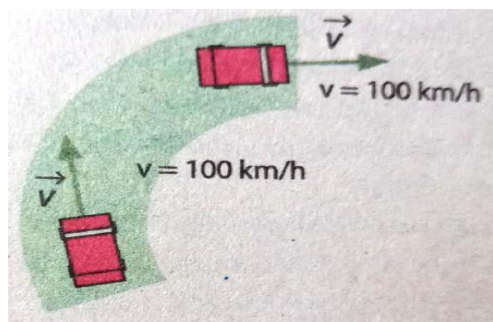
$$\vec{v}_{\text{media}} = \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t}$$

Analicemos los ejemplos presentados en el siguiente cuadro:



Las dos atletas tienen la misma rapidez (10 km/h), pero distinta velocidad, ya que una corre con dirección este-oeste; y la otra con dirección oeste-este.

Es por ello que **a la velocidad se le debe asignar un signo, según el SC previamente determinado.**



El vehículo conserva la rapidez (100 km/h), pero a medida que recorre la curva, modifica su velocidad; es decir, cambia la dirección del vector.

La rapidez es el módulo del vector velocidad, por lo que **para mantener la velocidad constante, no deben variar ni el módulo, ni la dirección del vector velocidad.**

Cuadro 1

Es importante resaltar que en este curso solo nos ocuparemos de movimientos a lo largo de una línea recta, es decir, cuya trayectoria es rectilínea. En estos casos la dirección del vector velocidad no cambia, por lo que muchas veces se puede confundir rapidez con velocidad.

Por último, mencionaremos una magnitud que más tarde trataremos en mayor detalle: la **aceleración**. Así como al considerar el cambio de desplazamiento en función del tiempo, obtenemos la velocidad de un cuerpo, de igual manera, si consideramos la variación de velocidad en función del tiempo, obtendremos la aceleración. Volveremos a tratar y profundizar esta magnitud más adelante, al abordar las leyes de Newton.

Unidad 4.2

Contenidos: El concepto de fuerza y de cantidad de movimiento. Descripción de las interacciones fundamentales. Leyes de Newton. Aceleración. Aplicaciones de las leyes de Newton. Evolución de las teorías sobre la mecánica a través del tiempo.

Modelos científicos

Modelo de “partícula” o “punto material”

La Física es una ciencia “fáctica”, es decir, estudia los fenómenos. Para ello, frente a una realidad compleja y cambiante -y a los fines de sistematizar el conocimiento- construye sistemas conceptuales que permiten comprenderla: las **teorías científicas**. Las teorías científicas son sistemas de ideas (conceptos, proposiciones, leyes) relacionadas entre sí, que **se refieren a modelos que se construyen sobre la realidad**. Las teorías científicas tratan con modelos ideales que se suponen

representan, de modo más o menos simbólicos y con alguna aproximación, ciertos aspectos de los sistemas o fenómenos que se estudian, pero jamás todos sus aspectos.

Según Bunge (2000)³, los científicos hacen conjeturas sobre lo que hay tras los hechos o fenómenos, abstraen e idealizan la situación bajo análisis, desprecian variables -por considerarlas irrelevantes en el fenómeno que se está analizando- y continuamente inventan conceptos que carecen de correlato empírico, aún cuando presumiblemente se refieren a cosas, cualidades o relaciones existentes objetivamente. Las teorías científicas, los conceptos que se definen, sus leyes, no tienen como referente directo a los fenómenos sino a representaciones simplificadas de los mismos. La adecuación de la teoría con la realidad y la validez del modelo propuesto se controlan con las experiencias.

Hemos señalado que la formulación de una ley, de una teoría científica, supone simplificaciones tanto en la elección de las variables relevantes como en la formulación de hipótesis acerca de las relaciones entre ellas. Esas simplificaciones se practican siempre.

Veamos un ejemplo para analizar lo que venimos diciendo. Consideremos el estudio del movimiento de una pelota que se lanza al aire hacia arriba. Como veremos más adelante, elegido un sistema de referencia, el movimiento resultante dependerá de las condiciones iniciales, en este caso de la velocidad inicial, y de la(s) fuerza(s) que se ejercen sobre la pelota. A la pelota se le asignan propiedades tales como el color, la temperatura, la superficie algo irregular y el giro que realiza mientras asciende. Estas cuestiones se presentan como irrelevantes para la descripción completa del movimiento; podría decirse que se hace un **recorte del sistema** de estudio (pelota). Además, sobre ella se ejerce la fuerza gravitatoria, que disminuye ligeramente a medida que la pelota asciende; y la resistencia del aire (rozamiento) y el empuje del mismo dan lugar a efectos adicionales. Pueden existir también corrientes variables de aire que compliquen aún más estos efectos, por lo que podríamos hacer una **simplificación del sistema**, ya que su incidencia es despreciable frente a otros factores intervinientes. Además podemos simplificar en el movimiento de la pelota, las implicancias de la atracción gravitatoria de la Luna (ya que no hay diferencias apreciables en el comportamiento de la pelota cuando hay luna llena o cuarto menguante, o si la Luna está delante o detrás), y lo mismo podríamos pensar en relación con los efectos del Sol. Pero podemos seguir haciendo simplificaciones y a través de la **postulación de entidades ideales**, podemos esquematizar a la pelota como una **partícula** o **punto material** (una masa puntual, sin tamaño, forma ni giro) y considerar que todas las fuerzas actúan sobre dicho punto. Entonces, podremos aplicar las leyes que se cumplen exactamente para el punto material (entidad ideal), por ejemplo las leyes de Newton, y las leyes del tiro vertical que estudiaste en el Secundario.

El término "**partícula**" o "**punto material**" está asociado frecuentemente con algo de dimensiones pequeñas. Ahora bien, no es ese el significado que se le da al término en física. Se trata de una **entidad abstracta, sin referentes fácticos directos, cuya deformación, vibración y rotación pueden ser dejadas de lado (por irrelevantes) en el análisis que se está encarando; y solo se considere su movimiento de traslación**. Entonces, se puede modelizar como punto material (o partícula) a cualquier cuerpo en el que las fuerzas que actúan sobre él, sólo modifiquen su movimiento de traslación.

³ *Bunge, M. (1969). *La investigación científica. Su estrategia y su filosofía*. Barcelona: Ariel. OCLC 5394770, última reedición en 2000 por México: Siglo XXI Editores.

Ejemplifiquemos lo dicho con una situación concreta. Cuando decimos que, por ejemplo, un auto de carreras va a una velocidad de 200 km/h ese valor de la velocidad la comparten el espejo, el asiento, el botón del traje del corredor, o de cualquier otro punto que se está trasladando. Tomemos como sistema de estudio al auto y al corredor. Independientemente de que durante cierto trayecto, por ejemplo, el corredor maneje con una o dos manos, parecería que para la magnitud que estamos analizando (la velocidad) no interesan los comportamientos internos del sistema. La velocidad de un solo punto del sistema en estudio representa perfectamente al resto, si lo que queremos es describir su movimiento de traslación. Es posible modelizar entonces al sistema auto-corredor como un punto material ya que para el estudio que nos interesa sólo importa conocer lo que ocurre con un punto que representa al sistema y con su descripción ahorrar la de cualquier detalle del mismo. Si en algún momento el auto derrapa y comienza a dar vuelcos, y nos interesa el estudio de ese movimiento, ya no podemos modelar al sistema como punto material.

El concepto de fuerza en Física

En los apartados anteriores se comenzó a definir qué es el movimiento y cómo podemos describirlo. Uno de los conceptos más importantes es que el movimiento es relativo y que para describirlo es necesario predefinir un sistema de referencia y un sistema de coordenadas, a partir de los cuales cobra sentido la descripción del mismo.

A continuación se hará foco en estudiar qué causa que un cuerpo cambie su estado de movimiento. El mundo que nos rodea es un mundo físico en el cual existen cuerpos e interacciones entre ellos que son objeto de estudio de la Física. La forma en que los cuerpos se comportan depende de esas interacciones y la Física intenta describir y predecir dicho comportamiento a través de principios, leyes y teorías. Una de las interacciones que se presentan en la naturaleza y que nos interesa estudiar son las fuerzas. Pero ¿Qué es una fuerza? ¿Qué tipos de fuerzas hay? ¿Cómo modifican estas el movimiento de los cuerpos? ¿Cómo podemos describir una fuerza? ¿Cómo la podemos percibir? ¿Qué ocurre si se ejerce más de una fuerza sobre el mismo cuerpo? A medida que avancemos iremos respondiendo estas preguntas, echando mano de dos herramientas fundamentales: el diagrama de cuerpo libre y las leyes de Newton.

Sin intención de dar una definición acabada -ya que se enriquecerá la idea de fuerza cuando se aborden las leyes de Newton- en Física al hablar de Fuerza, se hace referencia a una **magnitud vectorial** que puede pensarse como **una interacción entre cuerpos capaz de producir deformaciones y/o cambios en el vector velocidad (tanto en el módulo como en la dirección y/o sentido) del sistema de estudio**⁴. Se da el nombre de interacciones mecánicas a las interacciones que se manifiestan por medio de fuerzas de un cuerpo sobre otro.

Necesariamente, cuando se hace referencia a las fuerzas, *en todos los casos* se trata de la interacción entre el **sistema** que se esté analizando (caja, carrito, pelota, etc.) y algún elemento del **medio o entorno** (persona, soga, suelo, etc). Es decir, la interacción involucra dos partes: sistema en estudio y elemento del medio exterior o del entorno.

⁴ En los siguientes apartados se profundizará el concepto de sistema de estudio, enriqueciéndolo con ejemplos.

Es muy importante destacar, un aspecto que será retomado en profundidad cuando se aborde la 3° ley de Newton, conocida como principio de interacción. Las fuerzas siempre se presentan de a pares, es decir, el medio o entorno (persona, soga, suelo, etc.) ejerce una fuerza sobre el sistema de estudio (caja, carrito, pelota, etc.); pero simultáneamente, el sistema de estudio, ejerce una fuerza sobre el medio o entorno. A este par de fuerzas se les denomina parejas de interacción.

Clasificación de las fuerzas

Como una primera aproximación macroscópica al estudio de las fuerzas, se propone una clasificación general en dos grandes grupos: **de contacto** que surgen de la interacción directa entre los cuerpos y **de acción a distancia**, donde no hace falta que los cuerpos estén en contacto (Figura 4).

Un ejemplo de fuerza a distancia es la fuerza **Peso** (P), que es la fuerza que ejerce la Tierra sobre un cuerpo. Existen otras fuerzas en la naturaleza que poseen esta característica: las fuerzas **eléctricas** y las fuerzas **magnéticas**. En el primer caso, se hace referencia a fuerzas vinculadas a cuerpos cargados eléctricamente y en el segundo caso se refiere a la fuerza magnética producida -por ejemplo- por un imán.

En la Figura 4 se muestran ejemplos de fuerzas de contacto y a distancia

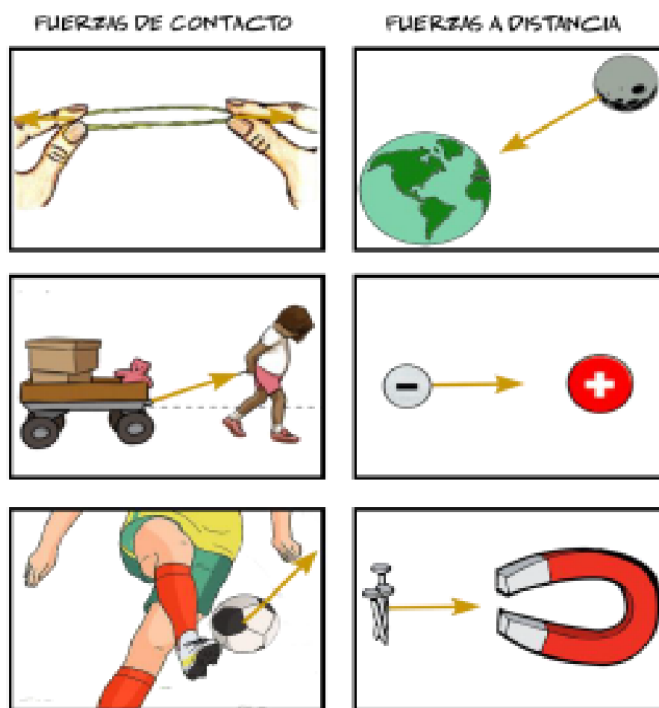


Figura 4.

Vectores: simbología y nomenclatura

Es importante recordar que se definió a una magnitud vectorial como aquella que para quedar totalmente definida además de un valor y su unidad es necesario especificar la dirección y sentido. Las magnitudes vectoriales se representan a través de un vector como puede observarse en la Figura 5, es decir, una flecha cuyo origen es el punto de aplicación de la fuerza, la longitud es igual al módulo de la fuerza y la flecha indica el sentido de la fuerza.

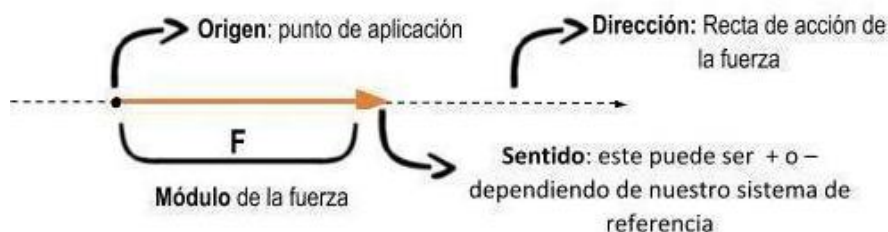


Figura 5.

Como hemos visto, una magnitud vectorial como por ejemplo fuerza, velocidad, posición o desplazamiento, puede escribirse dibujando una flecha arriba de la letra para indicar que es una magnitud vectorial \vec{v} , \vec{r} , $\vec{\Delta x}$ respectivamente. Otra forma, ampliamente utilizada en textos digitales o impresos, es utilizar el formato **negrita** para indicar que hablamos de vectores (\mathbf{F} , \mathbf{v} , \mathbf{r} o $\mathbf{\Delta r}$). Estos símbolos deben estar acompañados de un signo (+ o -) para indicar su sentido. Si la letra no tiene el signo - pero tampoco tiene el signo +, se interpreta (como en matemática) que la magnitud es positiva.

Representación de fuerzas

La Fuerza \vec{F} es una magnitud vectorial que se mide en Newton (N), en el Sistema Internacional.

Es recomendable cuando nos referimos a una fuerza emplear, además de la simbología mencionada en el apartado anterior, dos subíndices que indican qué cuerpo ejerce la fuerza y sobre qué **sistema de estudio** se ejerce (en ese orden).

Ejemplo: \vec{F}_{a-b} indica "la fuerza que ejerce **a** sobre **b**"

Esta simbología será de suma importancia al momento de identificar la pareja de interacción de cada fuerza aplicada sobre un sistema bajo estudio. Lo profundizaremos cuando abordemos la 3ª ley de Newton.

Veamos lo dicho en un ejemplo en el que un hombre está empujando una caja hacia un camión, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6.

Al momento de empezar a analizar la situación, es fundamental definir claramente el sistema en estudio. En este caso, como se va a analizar el movimiento de la caja, se considera que el sistema (u objeto) en estudio es la **caja**. Todo lo demás (el hombre, la superficie de apoyo, el planeta Tierra) constituye el **medio exterior o entorno**.

Nos detendremos en principio, en la fuerza ejercida por el hombre sobre la caja. La podemos escribir como $\overrightarrow{F_{h-c}}$.

Esta fuerza tendrá el punto de aplicación en la caja, posee cierto módulo, se caracterizará por un sentido (hacia el camión) y estará ejercida sobre una recta de acción horizontal (dirección horizontal), como se indica en la Figura 7.



Figura 7.

Algunas preguntas que pueden ayudar al momento de representar fuerzas:

1. ¿Dónde ubicar el origen de la flecha en un dibujo? o ¿En qué parte del cuerpo está el punto de aplicación?

En este curso consideramos correcta la forma de representación que se observa en la Figura 8. Dado que se utiliza el concepto de "punto material" (según el cual el objeto de estudio es considerado como un punto con masa) se puede considerar que todas las fuerzas están aplicadas en un único punto del cuerpo. Este punto se puede hacer coincidir -bajo ciertas consideraciones- con el centro geométrico también llamado centro de masa.

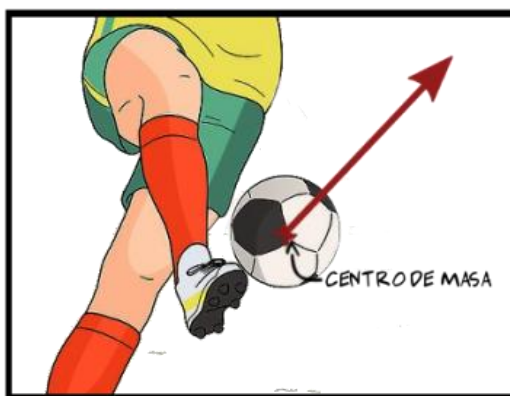


Figura 8. Forma correcta de representar una fuerza

Sin embargo, es común encontrar en algunos textos a las fuerzas mal representadas, donde la punta de la flecha apunta hacia los cuerpos a los que se les ejerce una fuerza (Figura 9). Prestar atención a estos detalles, ya que son fundamentales para interpretar la representación de las fuerzas.



Figura 9. Forma incorrecta de representar una Fuerza

2. ¿Cómo se representan las fuerzas mediante el diagrama de cuerpo libre (DCL)?

Un DCL es una representación de todas las fuerzas que actúan sobre el sistema de estudio. Para realizarlo, el sistema de estudio debe ser aislado o liberado de todos los otros cuerpos u objetos que interactúan con él.

En la Figura 10 se muestra el DCL que puede corresponder a la situación presentada en la Figura 8.

La construcción de estos diagramas será un paso importante y fundamental en la resolución de los problemas que vamos a abordar, puesto que ayuda a visualizar todas las fuerzas externas que actúan sobre el sistema de estudio elegido.

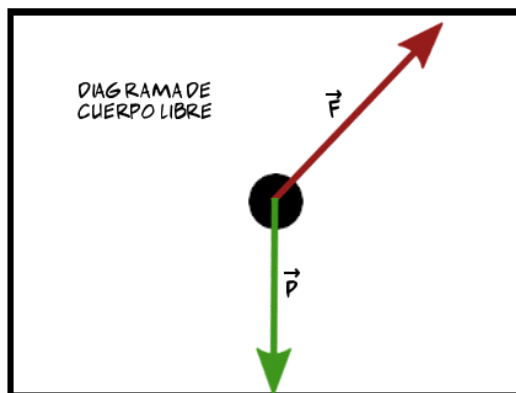


Figura 10.

En mecánica se utiliza el modelo de partícula o punto material, es por ello que se representan todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, aplicadas sobre un punto. En este curso se utilizará el DCL modelizando el objeto de estudio como punto material, y esta representación se desarrollará más adelante.

3. ¿Qué indica la longitud del vector?

La longitud del vector muestra la intensidad de la fuerza. En caso de conocer las intensidades (valores numéricos) de las fuerzas intervinientes, se deben representar con longitudes, que guarden relación con las intensidades dadas. Es decir, las de mayor intensidad, se representan con vectores más largos, las de igual intensidad con vectores de la misma longitud, etc.

4. ¿Cómo se identifican las fuerzas que se ejercen sobre un cuerpo?

Quando se decide estudiar algún fenómeno debemos definir el conjunto de elementos a estudiar. Ese conjunto de elementos se denomina “**sistema de estudio**”. A los elementos que **no forman parte del sistema** se los denomina “**agentes externos**”, “**medio externo**” o “**entorno**” (Figura 11).

Se considera como **medio externo** a **todos los cuerpos que están interactuando con el sistema de estudio** (ya sea en contacto directo o a distancia).

Por ejemplo, si se quiere estudiar todas las fuerzas que se ejercen sobre un bloque que está apoyado sobre el piso. Nuestro **sistema de estudio** será el **bloque** y el **medio externo** todo aquello que está interaccionando con el bloque. Para éste caso esos medios externos serán la **superficie de apoyo** y la **Tierra**.

En la Figura 11 se pueden observar esos agentes externos mencionados:



Figura 11.

En el siguiente DCL (Figura 12), se representan las fuerzas que ejercen sobre el sistema de estudio (el bloque): la que ejerce la Tierra y la que ejerce la superficie de apoyo.

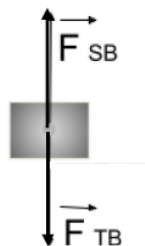


Figura 12.

5. ¿Qué significa realizar un análisis de interacciones?

En muchas de las actividades se propondrán “analizar las interacciones” (es decir quién o qué ejerce una fuerza sobre algo o alguien). Es en este punto que con frecuencia se advierten dificultades al momento de analizar las fuerzas que se ejercen sobre el sistema de estudio, es por ello que se sugiere la construcción de un cuadro en el que se pueda identificar el **sistema de estudio**, reconocer y diferenciar las **fuerzas o interacciones** que se ejercen sobre él, y qué parte del **medio externo o entorno** las está ejerciendo.

En el cuadro que se presenta a continuación (Cuadro 2), corresponde a la situación presentada en la Figura 12.

Sistema de estudio ¿sobre qué se ejerce la fuerza?	Fuerza o interacción	Medio externo o entorno ¿Qué ejerce la fuerza?
BLOQUE	\vec{F}_{SB}	Superficie
	\vec{F}_{TB} o \vec{P}	Tierra

Cuadro 2.

Leyes de Newton

En 1686 Newton presentó a la imprenta sus tres Leyes del Movimiento en una obra titulada Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, o sea, Principios matemáticos de la filosofía natural.

En esa obra Newton formuló y desarrolló una extraordinaria teoría acerca del movimiento, que sintetizó todo lo que se había trabajado hasta ese momento. Postuló que las fuerzas que actúan sobre un cuerpo actúan como agentes que producen el cambio en el estado de movimiento de dicho cuerpo. Su teoría se basó en los principios y definiciones fundamentales que hoy conocemos como las tres leyes del movimiento. Estos principios, sumados a la célebre ley de Gravitación Universal, permitieron dar una explicación satisfactoria de muchos movimientos, no sólo sobre la superficie de la Tierra, sino también para los cuerpos celestes.

Condiciones en las que son válidas las leyes de Newton

Algo importante a tener en cuenta antes de seguir avanzando con las leyes de Newton, es que no son válidas en cualquier circunstancia. Debemos tener en cuenta que, para aplicar válidamente estas leyes, nuestro sistema de estudio debe moverse a velocidades mucho menores que la velocidad de la luz⁵, y el valor de las posiciones que ocupan dichos sistemas no deben ser del orden de las distancias atómicas.

Además, el sistema en estudio debe poder modelizarse como un punto material y su movimiento se debe estudiar respecto de un sistema de referencia inercial. Recuerden que para analizar el movimiento y las magnitudes asociadas a este, necesitamos un sistema de referencia. Sólo en los sistemas (o marcos) de referencia inerciales podemos aplicar las leyes de Newton.

Sistema o marco de referencia inercial

Un sistema de referencia inercial es uno cuya velocidad no varía - es cero o se mantiene constante-. Además, cualquier sistema de referencia que se mueve a velocidad constante con respecto a un sistema de referencia inercial, también lo será.

Nuestro sistema de referencia inercial más usual es la Tierra, y en este punto debemos tomar recaudos. La Tierra no está en reposo ni se mueve con velocidad constante; tiene una pequeña aceleración debida a su movimiento de rotación, y otra relacionada con su movimiento de traslación alrededor del Sol. Sin embargo estas aceleraciones son tan pequeñas - aproximadamente una milésima parte del valor de la aceleración de la gravedad- que la podemos considerar un sistema de referencia inercial. Así mismo, un tren, avión, o cualquier vehículo que se mueva a velocidad constante, con respecto a la Tierra, puede ser considerado también como un sistema de referencia inercial.

Primera Ley de Newton

La forma de enunciarla varía según autores y textos, y si bien todas nos dicen más o menos lo mismo, algunas nos dan más especificaciones que otras. Vayamos con la ley en cuestión:

“Cuando se ejerce una fuerza neta igual a cero sobre un cuerpo, dicho cuerpo mantendrá su estado de movimiento, ya sea en reposo o a velocidad constante”

Pero ¿qué es la fuerza neta? La fuerza neta (FN) -también llamada fuerza resultante- es la suma vectorial de todas las fuerzas externas que se ejercen sobre un cuerpo que consideraremos nuestro sistema de estudio.

$$\vec{F}_N = \sum \vec{F}_{\text{Externas}} = 0$$

Más adelante veremos cómo calcular la fuerza neta, pero por ahora sigamos analizando esta ley.

Pero ¿qué es “el estado de movimiento de un cuerpo”? Esta ley nos ayuda a definirlo, mencionando dos casos posibles. En primer lugar, nos dice que un cuerpo que está en **reposo** se mantendrá en reposo. En segundo lugar, señala que

⁵ La velocidad de la luz es de, aproximadamente, unos $3 \cdot 10^8$ m/s.

un cuerpo que esté en movimiento continuará moviéndose con **velocidad constante** -a menos que sobre él actúe una fuerza neta distinta de cero-.

El estado de reposo (también denominado equilibrio estático) es muy fácil de caracterizar, pero no ocurre lo mismo con el movimiento con velocidad constante. Recordando lo que se trabajó en la Unidad 4.1, la velocidad es una magnitud vectorial; es por ello que un movimiento con velocidad constante (también llamado equilibrio dinámico), implica que dicho movimiento sea en línea recta y siempre con la misma rapidez. (el vector siempre tendrá la misma dirección, sentido e intensidad).

Para alterar cualquiera de estos dos estados de movimiento, es preciso que exista una $\sum \vec{F} \neq 0$ pero el reposo y el movimiento uniforme, se conservarán indefinidamente en ausencia de fuerzas o si la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo es igual a cero. Es por ello que comúnmente a este principio se lo conoce como **ley de inercia**.

Aplicación de la primera ley de Newton

Consideremos el ejemplo presentado en la página 14, del **bloque apoyado en el piso**.

Para el análisis de toda situación se debe elegir un sistema o marco de referencia inercial (SR) a partir del cual se analizará el estado de movimiento del cuerpo. El SR puede ser por ejemplo, un punto fijo en el suelo⁶. Además se debe definir un sistema de coordenadas cartesianas (SC), como se indica en la Figura 13, y los supuestos necesarios para que sean válidas las leyes de Newton.

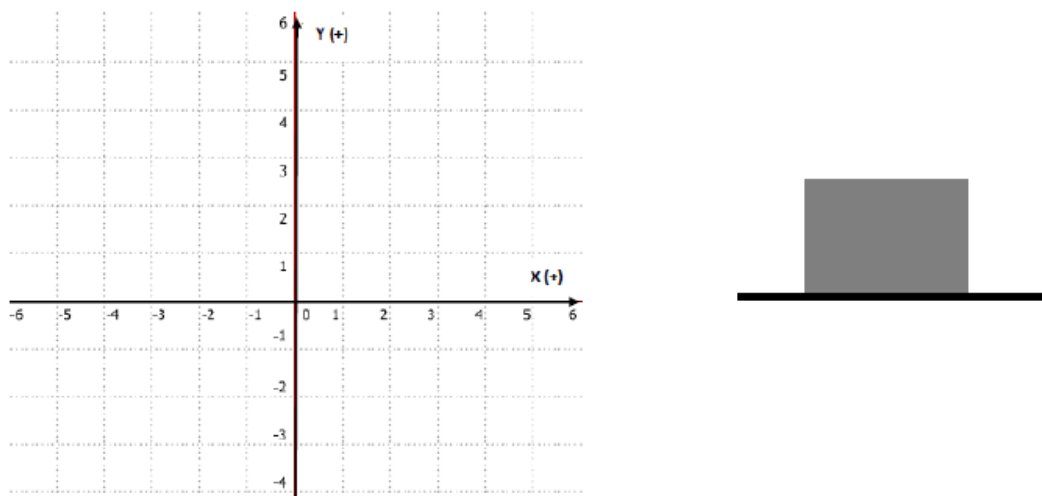


Figura 13. Representación gráfica del bloque apoyado en el suelo y el SC asociado.

Como dijimos anteriormente, en mecánica se utiliza el modelo de partícula o punto material, por lo tanto, el DCL correspondiente a esta situación, será como el siguiente (Figura 14)

⁶ Ya que estaría en reposo respecto a la tierra, que es un marco de referencia que consideraremos inercial.

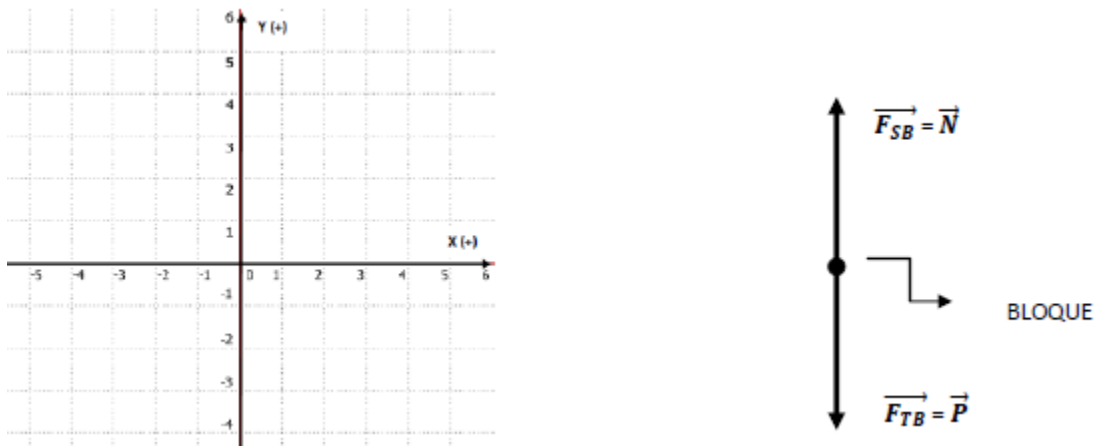


Figura 14. DCL y SC asociado.

Si tenemos en cuenta el enunciado de la primera ley (página 16), la fuerza neta será cero, ya que si analizamos el movimiento del bloque respecto del sistema de referencia, vemos que este no cambia de posición en función del tiempo ya sea en dirección vertical como horizontal. Dicho de otro modo, podemos decir que según el sistema de referencia elegido la caja “se encuentra en reposo” (velocidad inicial = 0).

Se cumplirá entonces:

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$$\vec{N} + \vec{P} = 0$$

Si trabajamos consideramos los módulos de las fuerzas, podemos incluir los signos de las mismas, según el SC elegido:

$$N - P = 0$$

Ambas fuerzas tienen el mismo módulo, pero sentido contrario, entonces se cumple:

$$N = P$$

El sistema de coordenadas debe ser establecido antes de resolver los ejercicios, ya que determinará el sentido de las fuerzas que actúan sobre el sistema de estudio.

¿Qué ocurriría si el bloque que se muestra en la Figura 13, se encontrara apoyado sobre una superficie inclinada y pulida? Este análisis se desarrollará en el Anexo.

Consideremos ahora el movimiento del **bloque luego de ser empujado sobre una superficie horizontal pulida**, como se muestra en la Figura 15.

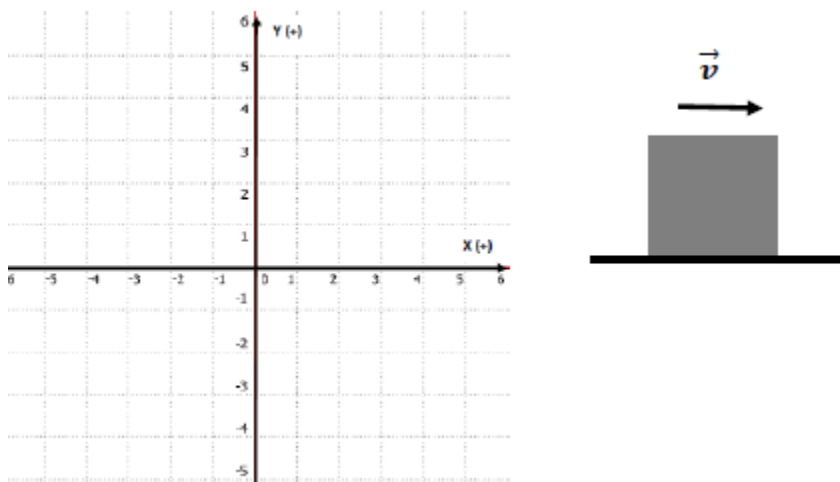


Figura 15.

Siguiendo la lógica anterior, primero definiremos el SR (que, recuerden, deberá ser inercial), el SC y los supuestos necesarios para poder realizar el análisis de las interacciones. En este caso particular, debemos considerar **-y esto es un supuesto que siempre tendremos que aclarar-** que despreciamos la fuerza de roce entre el bloque y la superficie.

Es importante que adviertan que las únicas fuerzas que actúan sobre el bloque, son el Peso y la Normal, ya que en el enunciado se aclara que se estudiará el movimiento **luego** de que el **bloque es empujado**, y que la **superficie es pulida** (se supone rozamiento despreciable).

El DCL, es exactamente igual al presentado en la Figura 14, sólo se debe aclarar que el cuerpo tiene una determinada velocidad, como se muestra en la Figura 16.

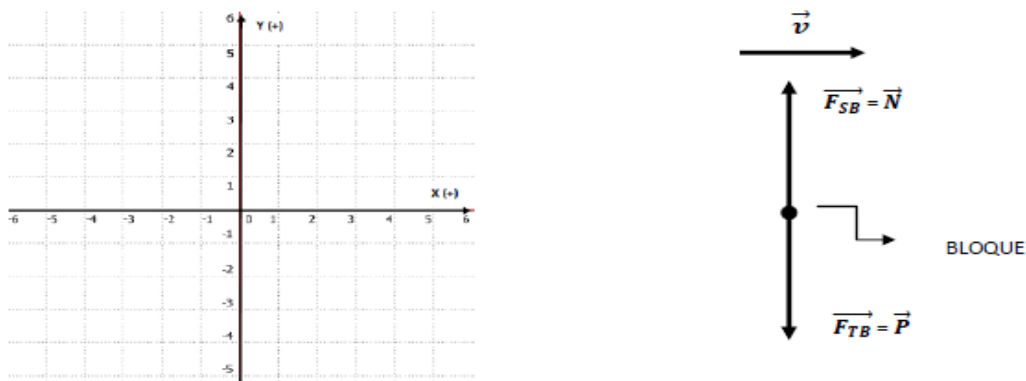


Figura 16.

Si aplicamos la primera ley de Newton a esta situación, tenemos que:

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$$\vec{N} + \vec{P} = 0$$

Si trabajamos consideramos los módulos de las fuerzas, podemos incluir los signos de las mismas, según el SC elegido:

$$N - P = 0$$

Ambas fuerzas tienen el mismo módulo, pero sentido contrario, entonces se cumple:

$$N = P$$

A partir de la aplicación de la primera ley de Newton podemos deducir que para que un cuerpo mantenga su estado de movimiento a velocidad constante (equilibrio dinámico), la sumatoria de sus fuerzas externas debe ser igual a 0.

¿Qué pasa si las fuerzas no se anulan y su sumatoria da una fuerza neta distinta de 0?

Para analizar este otro tipo de casos, necesitaremos abordar la segunda ley de Newton.

Segunda ley de Newton

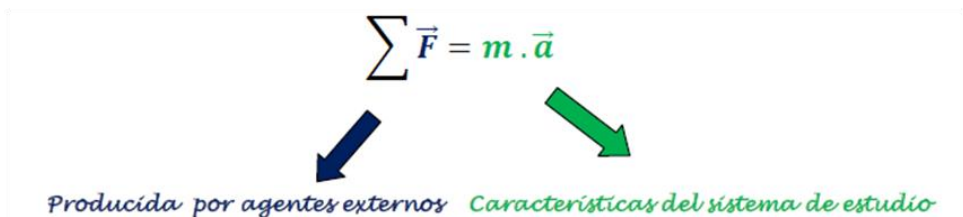
La segunda ley de Newton, nos permitirá describir y explicar las situaciones donde la fuerza neta es distinta de cero.

Cuando sobre un sistema de estudio se ejerce una fuerza neta distinta de cero (la sumatoria de las fuerzas que se ejercen sobre él, no es cero), la velocidad del sistema va a cambiar, es decir, su estado de movimiento cambiará.

Matemáticamente puede expresarse como:

$$\vec{F}_N = \sum \vec{F} \neq 0$$

La segunda ley de Newton se formula entonces:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$


Producida por agentes externos *Características del sistema de estudio*

La podemos enunciar como:

Una fuerza neta distinta de cero que se ejerza sobre un sistema de estudio de masa “m”, es la causa por la cual ese sistema -que podemos modelizar como punto material- cambiará su estado de movimiento, es decir, adquiere una aceleración. Esta aceleración tendrá igual dirección y sentido que la fuerza neta.

En Física se define **aceleración** como una magnitud vectorial que nos informa acerca del cambio del vector velocidad, en un intervalo de tiempo.

Puede definirse matemáticamente como:

$$\vec{a} = \frac{\overrightarrow{\Delta v}}{\Delta t}$$

Siempre que haya un cambio de velocidad, existirá una aceleración. Como dijimos anteriormente, como trabajaremos con movimientos rectilíneos ese cambio de velocidad solo referirá al cambio del módulo del vector (es decir, en la rapidez). Es por ello que la velocidad podrá aumentar o disminuir. Además, al tratarse de una magnitud vectorial, su signo dependerá del SC elegido.

La unidad de aceleración, según el SI, es el m/s^2 . Es importante no confundir la unidad de velocidad con la de aceleración. La unidad de velocidad - que es el m/s - indica como varía la posición (que se mide en m), cada segundo. En cambio, la unidad de aceleración indica como varía la velocidad (que se mide en m/s), cada segundo. Por ejemplo, un objeto que posee una aceleración constante de 10 m/s^2 aumentará su velocidad 10 m/s por cada segundo que pase.

Normalmente se asocia la aceleración con un incremento del módulo -valor numérico- de la velocidad, pero se debe tener en cuenta que si la aceleración de un móvil posee signo contrario a la velocidad del mismo, la intensidad de la velocidad disminuirá a lo largo del tiempo.

En Física, decir que un objeto está acelerando significa que varía su velocidad a lo largo del tiempo. Si su velocidad a lo largo del tiempo se mantiene constante, su aceleración será 0.

Volvamos al enunciado de la 2ª ley. ¿Qué se puede desprender del enunciado?

En primer lugar, nos dice que tanto la fuerza neta como la aceleración -ambas magnitudes vectoriales-, tendrán igual dirección y sentido. Esto es bastante intuitivo: si pateamos una pelota (es decir, ejercemos una fuerza sobre esta) hacia el arco, vamos a esperar que esta adquiera una aceleración en esa misma dirección y sentido y no hacia otro lado.

En segundo lugar, nos habla de cómo se relaciona la aceleración de un cuerpo con la **masa** del mismo. Es por esto que a la segunda ley de Newton suele llamarse **principio de masa**. Más específicamente, la segunda ley nos dice que, frente a una misma fuerza neta, la aceleración de un cuerpo será inversamente proporcional a su masa. Es decir, que cuanto más masa tenga un cuerpo, la misma fuerza neta generará una menor aceleración. Imaginen que empujamos una silla para moverla. Luego, imaginen que empujamos esa misma silla, con la misma fuerza, pero con una pila de libros arriba. Suponiendo que logramos mover la silla, la aceleración que adquiere será menor que en el primer intento, debido justamente a la diferencia de masa entre un sistema y el otro.

En tercer lugar, nos dice que el módulo de la fuerza neta puede calcularse multiplicando los módulos de la masa y la aceleración⁷.

También nos permite deducir la unidad en qué se mide la magnitud Fuerza. Si tomamos el Sistema Internacional de medidas, la unidad de masa es kg y la unidad de aceleración es m/s^2 . Entonces, la unidad resultante es el producto de la unidad de masa y de la unidad de aceleración, o sea $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$. Oralmente, se expresa como “kilogramo por metro sobre

⁷ Observen que si la fuerza neta es 0, la aceleración también será 0 (ya que la masa no varía, porque es una propiedad intrínseca del cuerpo).

segundo al cuadrado". Para homenajear al querido Isaac Newton, a esa unidad de fuerza también se la llama Newton, que se representa simbólicamente como **N**.

Aplicación de la segunda ley de Newton

Analicemos el siguiente ejemplo (Figura 17): **Un hombre empuja una caja sobre el suelo, aplicando una fuerza constante que provoca que la velocidad de la caja aumente**

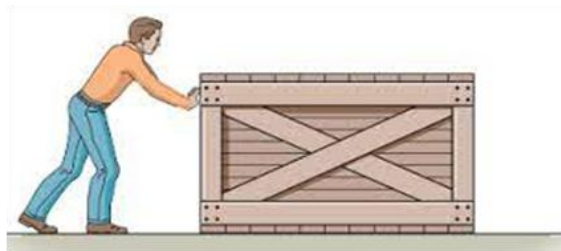


Figura 17.

Como en este caso no se menciona que la superficie es pulida (o lisa), debemos suponer que la superficie ejerce sobre el cuerpo una fuerza de rozamiento con la misma dirección, pero con sentido contrario al movimiento. A partir de este supuesto, podemos ver el DCL (Figura 18), donde se representan todas las fuerzas aplicadas sobre la caja

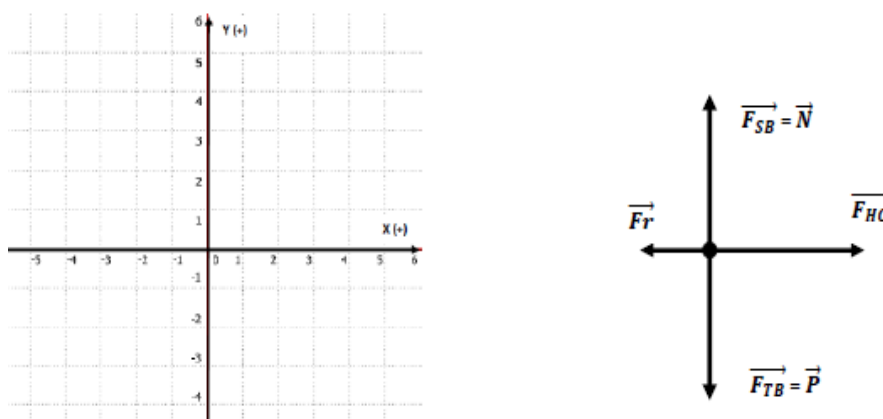


Figura 18.

En este ejemplo en particular debemos considerar que tenemos fuerzas externas actuando tanto en el eje y como en el eje x. Entonces deberemos **trabajar con las fuerzas en cada eje, de manera independiente**.

En el eje y tenemos que:

$$\sum F_y = 0$$

$$\vec{N} + \vec{P} = 0$$

Si trabajamos consideramos los módulos de las fuerzas, podemos incluir los signos de las mismas, según el SC elegido:

$$N - P = 0$$

Ambas fuerzas tienen el mismo módulo, pero sentido contrario, entonces se cumple:

$$N = P$$

En cambio, en la dirección del eje x, las fuerzas aplicadas no poseen igual módulo. Esto podemos asegurarlo, ya que la caja - como describimos al principio- aumenta su velocidad por lo cual decimos que la caja posee una aceleración distinta de cero. Así, obtendremos un vector de fuerza neta con igual dirección y sentido que la fuerza de mayor módulo, como se indica en la Figura 19.

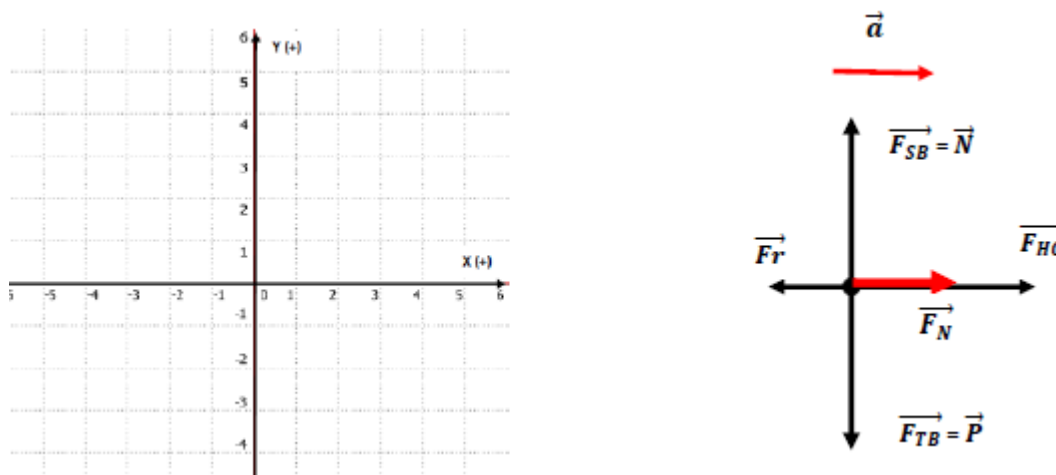


Figura 19.

Podemos expresar matemáticamente la segunda ley de Newton, de la siguiente forma:

$$\sum \vec{F}_x \neq 0$$

$$\vec{F}_{HC} + \vec{F}_r \neq 0$$

$$\vec{F}_{HC} + \vec{F}_r = m \cdot \vec{a}$$

Si trabajamos considerando los módulos de los vectores, podemos incluir los signos de los mismos, según el SC elegido:

$$F_{HC} - Fr = m \cdot a$$

En esta situación ¿qué ocurrirá con la velocidad de la caja?

Mientras dure la aplicación de la fuerza que ejerce el hombre, la caja irá aumentando su velocidad a lo largo del tiempo. Si la persona empujara con más fuerza a la caja, la segunda ley también nos permite decir que la aceleración sería aún mayor.

La Fuerza peso (adaptado de Tipler, 2003)

Como hemos visto, en Física, peso y masa no deben ser utilizados indistintamente como hacemos en el lenguaje cotidiano.

El **Peso (o fuerza peso)** es la fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre un cuerpo por acción de la gravedad y, aunque no es lo mismo que la masa, está relacionado con ella.

Si dejamos caer un objeto cerca de la superficie terrestre, el objeto acelera hacia la Tierra. Si podemos despreciar la resistencia del aire, todos los objetos poseen la misma aceleración, llamada aceleración de la gravedad (simbolizada como g) en cualquier punto del espacio. La fuerza que causa esta aceleración es la fuerza de la gravedad sobre el objeto, llamada peso del mismo, y simbolizada como P . Si el peso es la única fuerza que actúa sobre un objeto, se dice que éste se encuentra en **caída libre**. Si su masa es m , la segunda ley de Newton define el peso del cuerpo de la siguiente forma:

$$P = m \cdot g$$

Como g -repetimos- es idéntico para todos los cuerpos, llegamos a la conclusión de que el peso de un cuerpo es proporcional a su masa. El vector g también se lo denomina **vector campo gravitatorio** terrestre y puede interpretarse como la fuerza por unidad de masa ejercida por la Tierra sobre cualquier objeto. Es igual a la aceleración en caída libre experimentada por un objeto. Cerca de la superficie terrestre g tiene el valor aproximado de $9,8 \text{ N/kg} = 9,8 \text{ m/s}^2$

A modo de síntesis:

En las actividades planteadas como aplicación de la primera y segunda ley de Newton, hemos discutido y analizado tres estados distintos de movimiento: reposo, movimientos con velocidad constante y movimientos en los que la velocidad varía. Y esta discusión fue hecha a partir del análisis de las fuerzas ejercidas sobre cada sistema de estudio.

Un sistema de estudio puede considerarse en **reposo** (o equilibrio estático) si $\sum \vec{F} = 0$ y $\vec{v} = 0$; y puede considerarse moviéndose con **velocidad constante** (o en equilibrio dinámico) si $\sum \vec{F} = 0$ y $\vec{v} \neq 0$.

La **Primera Ley de Newton** habla sobre dos estados de movimiento: **reposo y velocidad constante**, es decir, de cuerpos en equilibrio.

En los casos en que $\sum \vec{F} \neq 0$ tendremos un estado de movimiento en los cuales la velocidad varía.

La **Segunda Ley** establece $\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$

La aceleración es una magnitud vectorial y tiene las mismas características vectoriales que la fuerza neta (misma dirección, mismo sentido).

De la **Segunda Ley** se desprende que:

Si el sentido de la Fuerza neta y la velocidad es el mismo, la velocidad va a aumentar, y si son de sentido contrario, la velocidad va a disminuir.

Vale aclarar que en todos los problemas que resolveremos las fuerzas serán constantes a lo largo del tiempo; esto hará que las aceleraciones también sean constantes. Lo que varía es la velocidad.

Tercera ley de Newton

Como se mencionó antes, las fuerzas son producto de la interacción entre los cuerpos, es por ello que existen de a pares. Newton plasmó esta idea en la tercera ley

“Siempre que un cuerpo A ejerza una fuerza sobre un cuerpo B, el cuerpo B ejercerá una fuerza sobre A, de igual magnitud pero de sentido contrario”

$$\mathbf{F}_{A-B} = - \mathbf{F}_{B-A}$$

Dicho en otras palabras, en Física *toda interacción entre dos cuerpos es entendida de manera simétrica*. Es decir, que *siempre* que dos cuerpos interactúan, no es que simplemente uno ejerce fuerza sobre otro, sino que *ambos* están ejerciendo fuerza de manera recíproca. Este par de fuerzas, cada una ejercida por un cuerpo distinto, es llamado “pareja de interacción”. En muchos lugares lo encontrarán también como “pareja de acción y reacción”, pero este nombre puede implicar una errónea concepción errónea que un cuerpo acciona primero, mientras que otro, luego, reacciona en respuesta.

Aplicación de la tercera ley de Newton

Imaginemos a dos personas con patines, A y B, están inicialmente en reposo sobre una pista de hielo, donde podemos considerar que la fuerza de roce es despreciable. En determinado momento el *patinador B* empuja a la *patinadora A* con una fuerza de 40 N de intensidad, ejercida en dirección horizontal. La masa del *patinador B* es de 80 kg y la de la *patinadora A* es de 40 kg, podemos preguntarnos:

¿Qué fuerzas actúan sobre A y cuáles sobre B? ¿Qué ocurrirá luego del empujón? ¿Se moverá sólo la patinadora A, sólo B, o ambos? ¿Qué aceleración habrán adquirido a causa del empujón? ¿La misma en ambos casos?

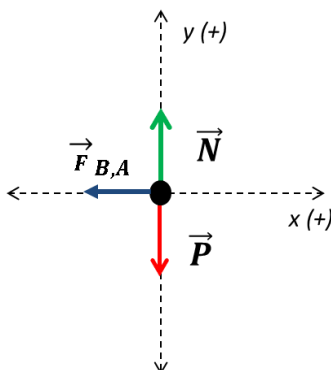


PATINADORA A PATINADOR B

Para responder estas preguntas es conveniente comenzar definiendo cuál será nuestro sistema en estudio. Dado que las preguntas involucran tanto a la patinadora A como al B, será conveniente -en principio- definir dos sistemas de estudio separados: A y B.

Podemos modelizar a los patinadores como puntos materiales distintos; además también, establecer un SR y un SC. Finalmente, consideraremos como supuesto que -dado que están sobre una superficie de hielo- la fuerza de roce del suelo es despreciable.

Considerando lo anterior construimos el DCL para la patinadora A:



También podremos expresar esto mismo a través de un cuadro de interacciones, como el siguiente:

Sistema de estudio <i>¿Sobre qué se ejerce la fuerza?</i>	Fuerza (interacción)	Medio externo/entorno <i>¿Qué ejerce la fuerza?</i>
PATINADORA A	\vec{P}	TIERRA
	\vec{N}	SUPERFICIE/ PISTA HIELO
	\vec{F}_{B-A}	PATINADOR B

Cuadro 3. Cuadro de interacciones tomando como sistema de estudio a la Patinadora A

Habiendo identificado todas las fuerzas sobre A y sabiendo que se encontraba en reposo, podemos saber cómo se moverá luego de ser empujada. Aplicando la segunda ley de Newton y podemos averiguar la aceleración que adquiere:

$$\sum \vec{F}_x = m \cdot \vec{a}$$

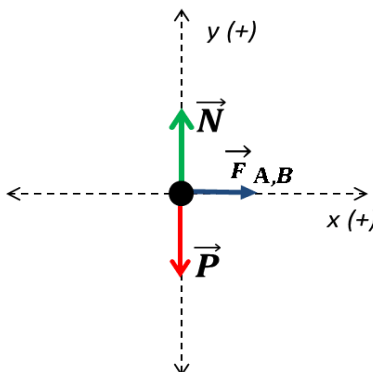
$$-40 \text{ N} = 40 \text{ kg} \cdot a$$

$$a = -1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Presten atención a dos cosas importantes: en primer lugar, sólo se consideró la sumatoria de fuerzas sobre el eje x, dado que en el eje y -al menos para este caso particular- las fuerzas P y N se anulan; por otro lado, observen que la fuerza neta sobre el eje x es un valor negativo, lo cual es coherente con el SC definido. Esto último también será coherente con el resultado

negativo obtenido para la aceleración que adquiere A. Es decir, la aceleración de la patinadora A tiene sentido hacia la izquierda, y es de 1 m/s^2 .

Ahora analizamos qué ocurre con el patinador B, y representamos el DCL para este caso:



También, como en el caso anterior, podremos representar estas fuerzas en un cuadro de interacciones:

Sistema de estudio <i>¿Sobre qué se ejerce la fuerza?</i>	Fuerza (interacción)	Medio externo/entorno <i>¿Qué ejerce la fuerza?</i>
PATINADOR B	\vec{P}	TIERRA
	\vec{N}	SUPERFICIE/ PISTA HIELO
	\vec{F}_{A-B}	PATINADORA A

Cuadro 4. Cuadro de interacciones tomando como sistema de estudio al Patinador B

¿Qué ocurrirá con B al realizar el empujón? ¿Cuál será su aceleración? ¿Será igual que la de la patinadora A?

Para responder la primera pregunta, basta con observar el diagrama de cuerpo libre y saber que el patinador B también parte del reposo, por lo que sabremos que comenzará a moverse hacia la derecha. Para averiguar su aceleración, deberemos plantear nuevamente la sumatoria de fuerzas sobre el eje x, pero esta vez para el cuerpo B:

$$\sum \vec{F}_x = m \cdot \vec{a}$$

$$40 \text{ N} = 80 \text{ kg} \cdot a$$

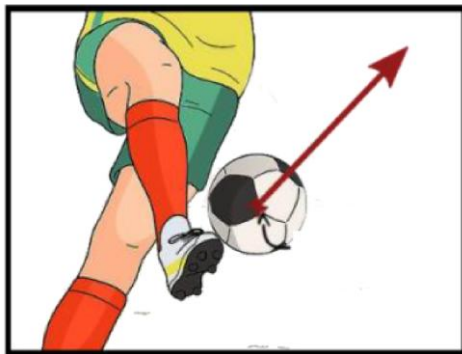
$$a = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Observen que la aceleración no será la misma que para la patinadora A. En primer lugar, el signo será positivo, y eso es coherente con el SC elegido. En segundo lugar, su magnitud tampoco será la misma. Según el principio de interacción la

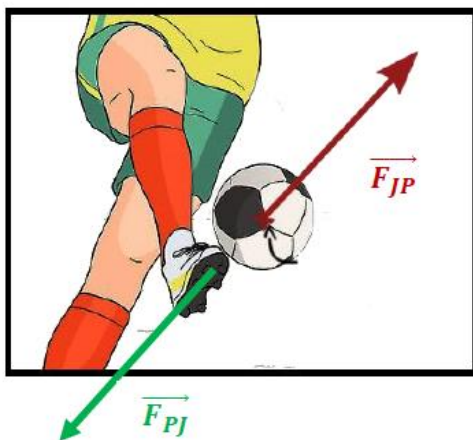
fuerza aplicada sobre B es de 40 N, pero la masa de B es el doble que la masa de A, por lo que el patinador B adquiere una aceleración que es la mitad de la que tiene la patinadora A.

Representación gráfica de las parejas de interacción

Volvamos al ejemplo de la jugadora que patea una pelota. Vemos en la figura la representación de la fuerza que ejerce la jugadora sobre la pelota:



¿Cuál es la pareja de interacción de esta fuerza? ¿Dónde se ejerce?



La pareja de interacción de la fuerza que ejerce la jugadora sobre la pelota \vec{F}_{J-P} es la fuerza que la pelota ejerce sobre la jugadora \vec{F}_{P-J} y está aplicada en el botín de la jugadora.

Las parejas de interacción, tienen el mismo módulo, la misma dirección y sentido contrario. Además, están aplicadas en distintos cuerpos (pelota y botín)

ANEXO

El plano inclinado (descomposición de fuerzas)

El plano inclinado es una de las máquinas más antiguas del mundo. Está constituido por una superficie rígida que forma un determinado ángulo $\hat{\alpha}$ con la horizontal.

En el caso en que se pueda despreciar el rozamiento con la superficie, cualquier cuerpo ubicado sobre el plano como se indica en la Figura 1, se deslizará hacia el pie del plano.

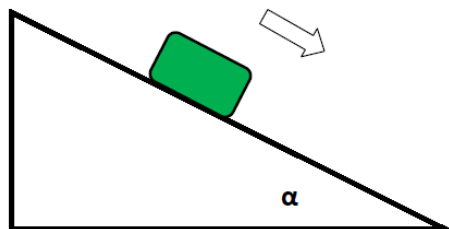


Figura 1. Bloque apoyado sobre un plano inclinado cuyo rozamiento se puede despreciar

¿Qué fuerzas actúan sobre el bloque apoyado en el plano? ¿Por qué el bloque cae por el plano?

Para responder a la primera pregunta, debemos establecer con quién interactúa el bloque. En este caso el bloque está interactuando con la Tierra y con la superficie del plano. Es por ello que sobre el sistema de estudio bloque, actúan \vec{P} y \vec{N} respectivamente.

La fuerza \vec{P} siempre tiene dirección vertical y sentido hacia el centro de la Tierra; la fuerza \vec{N} siempre es perpendicular a la superficie, por lo que las fuerzas representadas sobre el bloque se muestran en la Figura 2.

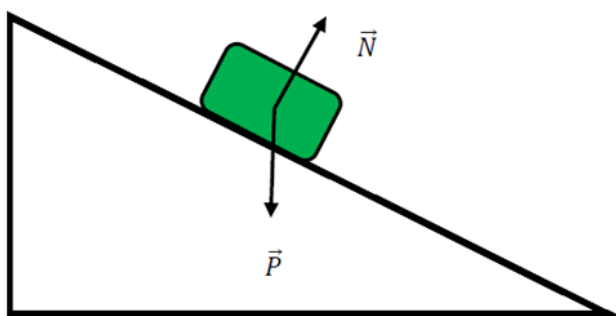


Figura 2. Fuerzas que actúan sobre el sistema de estudio bloque

Pero se debe tener en cuenta que el SC ha rotado un ángulo $\hat{\alpha}$. El eje x sigue siendo paralelo al plano y el eje y, perpendicular al mismo, por lo que el \vec{P} puede descomponerse en dos componentes, una componente paralela al plano (sobre el eje x) y otra perpendicular (sobre el eje y). Estas componentes se nombran P_x y P_y respectivamente, como se indica en la Figura 3.

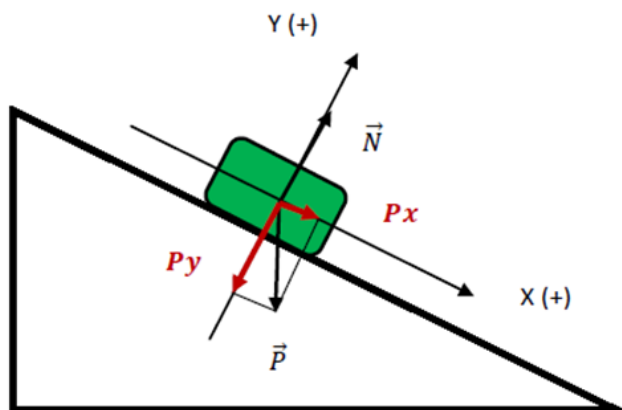


Figura 3. Descomposición de la fuerza \vec{P} en el plano inclinado

A partir de la descomposición anterior, ya estamos en condiciones de explicar por qué cae el bloque por el plano.

Para ello nos valemos de las leyes de Newton para el eje x y para el eje y.

Para el eje y:

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

Si trabajamos con los módulos de las fuerzas, podemos incluir los signos de las mismas, según el SC elegido:

$$\vec{N} - \vec{P}_y = 0$$

$$\vec{N} = \vec{P}_y$$

Para el eje x:

$$\sum \vec{F}_x \neq 0$$

$$\sum \vec{F}_x = m \cdot \vec{a}$$

$$P_x = m \cdot a$$

En el eje x aparece la componente P_x que es la que **provoca que el bloque descienda por el plano**, aumentando su velocidad.

Se desprende del desarrollo anterior, que para mantener el cuerpo en reposo sobre el plano, deberá existir una fuerza contraria a P_x , y del mismo módulo -que podría ser una F_r -. Lo mismo debería ocurrir para que el bloque se deslice por el plano con velocidad constante.