no me salen

Ejercicios de

Biofísica

Ricardo Cabrera

EUDEBA

Ejercicios de Biofísica

no me salen

Ejercicios de

Biofísica

Ricardo Cabrera

EUDEBA

Cabrera, Ricardo
Los ejercicios de biofísica / Ricardo Cabrera. - 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Eudeba, 2020.
Libro digital, PDF - (No me salen)

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-950-23-3056-3

1. Física. I. Título.
CDD 571.4

Eudeba
Universidad de Buenos Aires

Primera edición: agosto de 2020

Editorial Universitaria de Buenos Aires
Sociedad de Economía Mixta
Av. Rivadavia 1571/73 (1033) Ciudad de Buenos Aires
Tel: 4383-8025 / Fax: 4383-2202
www.eudeba.com.ar

Composición general: Eudeba

Impreso en Argentina
Hecho el depósito que establece la ley 11.723

Índice

Prólogo

Los libros de la colección *No me salen* son recopilaciones de ejercicios resueltos de Física, que incluyen los conceptos teóricos necesarios para su resolución. Surgieron en formato de apuntes para estudiantes del primer año de la universidad (CBC, UBA), para diversas carreras. La serie completa de ejercicios y apuntes –en permanente corrección y crecimiento– se halla *on-line* en mi sitio personal: neuro.qi.fcen.uba.ar/ricuti donde seguirá estando en forma gratuita y sin fines de lucro. La gran cantidad de lectores del sitio me impulsa a completar un curso de Física General que excede –temáticamente– los cursos del CBC con los que nació. Además, en el sitio, en la sección *miscelánea*, podrán hallar más consejos, guías, tablas, exámenes de autoevaluación y otros accesorios de diversa utilidad.

Tal vez el mayor desafío de esta obra consiste en plantear la enseñanza de la Física en un lenguaje absolutamente llano y desacartonado, desprovisto de solemnidad, despojado al máximo de jerga innecesaria sin resignar nada en rigor científico. Poblado de *tips*, ayudas, advertencias, consejos, desafíos, chismes importantes, preguntas capciosas y algunos chistes malos, las páginas de *No me salen (Ejercicios de Física)* apuestan a que el aprendizaje de la Física sea placentero para todos.

Ricardo Cabrera

Capítulo 1

Mecánica

Cinemática

El esquema

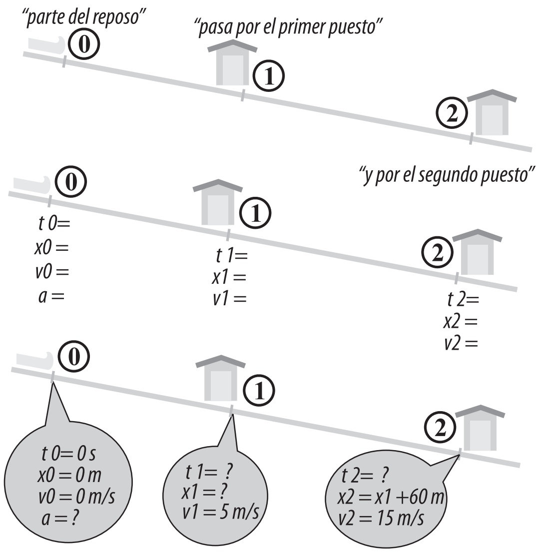
Es una herramienta cinemática utilísima, que consiste en dibujar la trayectoria y consignar sobre ella la información cinemática de la que se disponga, en la proximidad (lo más junto posible) de la posición correspondiente. Es la más sencilla de las herramientas cinemáticas. Tiene la capacidad de organizar espacial y temporalmente toda la información de la que se dispone incluso de los datos que se buscan. Tiene la virtud de ordenar y nombrar todo lo que interviene en un problema, tanto dato como incógnita. Lo que está en el esquema no se pierde. Un esquema bien hecho y completo es garantía casi absoluta de que el ejercicio estará bien resuelto.

Vamos a hacerlo paso a paso. Te propongo hacerlo para un problema muy bonito que figuraba en la guía vieja de Física. Era el 3.6. Leé atentamente el enunciado.

3.6

Un trineo parte del reposo por una rampa inclinada, con aceleración constante. Pasa por el primer puesto de control con una velocidad de 5 m/s, y por el segundo puesto con una velocidad de 15 m/s. Si ambos puestos están distanciados 60 metros, calcular la aceleración que experimenta, la distancia del punto de partida al primer puesto, y el tiempo transcurrido desde que partió hasta que pasó por el segundo puesto.

Lo primero que hacemos es **dibujar la trayectoria**. Luego **detectamos los puntos** relevantes, o sea aquellos que son mencionados en el enunciado, y les **ponemos un nombre**: O, 1, 2, 3... o A, B, C... El que vos quieras. Pero ponele un nombre arbitrario y sencillo. Podés agregarle al dibujo todos los chiches que gustes y que te ayuden a representarte el movimiento: los puestos, el trineo...



De cada punto marcado y al que le pusimos nombre se **descuelga una ventana** automática. Siempre la misma ventana: ***t***, ***x***, ***v***, ***a***, con su subíndice, por supuesto.

Supongamos que el punto **M** me interesa, entonces inevitablemente voy a tener que hablar de t_M, x_M, v_M y a_M. Así siempre. Es una ventana automática. Fijate que en los puntos **1** y **2** no puse aceleración: ¿es que no hay aceleración ahí? No, es que la aceleración vale lo mismo en todo el recorrido (lo dice el enunciado), entonces no vale la pena ni ponerle subíndice ni consignarlo más de una vez.

Por último llenás cada ventana (cada globito) con todos los datos que consigas, y con las decisiones que vos tomes, como -generalmente- el cero de los tiempos. Todo lo que dice el enunciado termina volcado al esquema. Si hay algo que dice el enunciado y no está en el esquema... es para sospechar. A los datos que ignores, o sea, las incógnitas, poneles un signo de interrogación. Pero ya tienen nombre, lo cual no es poco. El esquema es la mejor herramienta para contrastar la interpretación del enunciado con el enunciado en sí mismo, una especie de ejercicio de interpretación de textos.

NOTA:

Tomá, te hice un resumen:

Pasos para confeccionar un esquema:

1) Dibujar la trayectoria.

2) Indicar sobre la trayectoria todos los sucesos mencionados en el enunciado.

3) Ponerle un nombre "**N**" a cada suceso.

4) Descolgar la ventana t_N, x_N, v_N y a_N para cada suceso.

5) Llenar la ventana con todo lo que puedas: datos, decisiones...

6) Contrastar lo que dice el enunciado con lo que dibujaste y ver si es lo mismo.

Los gráficos

Son una herramienta cinemática utilísima; nunca dejes de hacerlos con cada ejercicio que resuelvas. Puede ser antes o después, no importa. Ayudan a entender el enunciado, ayudan a resolver el problema. Son herramientas tan claras y didácticas que hoy todo el mundo explica sus cosas con gráficos.

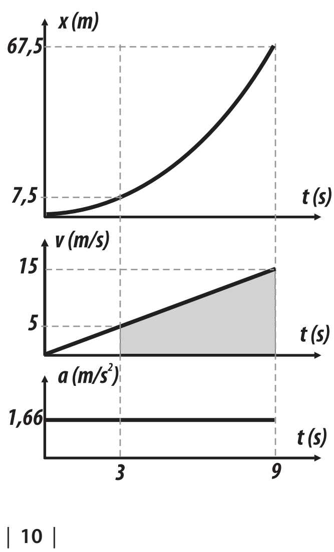
En cinemática tratá de hacerlos siempre de esta forma: de a tres, posición en función del tiempo, velocidad en función del tiempo y aceleración en función del tiempo. En el orden en que los escribí, encolumnados, y con la misma escala de tiempo. Te lo muestro con este ejemplo que saqué del problema 3.5

Fijate, el orden es éste:

1ro.- ***posición - tiempo***

2do.- ***velocidad - tiempo***

3ro.- ***aceleración - tiempo***



Este orden no es arbitrario, tiene su lógica (ya te vas a enterar cuando seas más grande, pero te adelanto que tiene que ver con la *derivación*).

El hecho de que estén encolumnados y con la misma escala de tiempo te ofrece información simultánea en un solo golpe de vista, y te permite pensar cosas interesantes. Por ejemplo fijate la curva de posición, la de arriba: el único momento en que la curva no tiene inclinación es en el instante inicial; justo ahí el segundo gráfico te dice que la velocidad es cero.

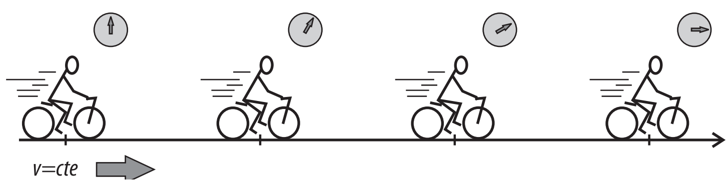
A veces sombreamos algunas áreas. Los gráficos suelen albergar mucha más información que la que muestran en primera instancia.

Los gráficos no necesariamente deben ser cuantitativos, o sea, no necesariamente deben contener escalas proporcionales ni contener los números que aparecen en los problemas. Es más importante que aprendas a interpretarlos y confeccionarlos en forma cualitativa, "a mano alzada". Sin embargo, cuando cuentes con algún dato, indicalo por su nombre o por su valor. En este último caso, no te olvides de consignar en qué unidades estás considerando esos valores.

Movimiento rectilíneo uniforme, MRU

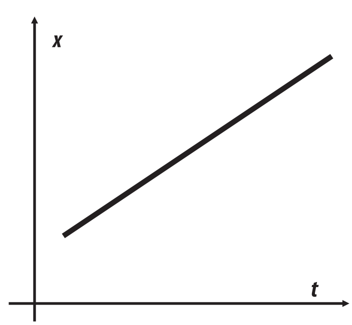
Se trata del tipo de movimiento más sencillo que se pueda imaginar. Ideal para aprender a hacer cinemática. Su nombre lo caracteriza: la palabra **rectilíneo** indica que la **trayectoria** coincide con una recta; y la palabra **uniforme** que la **velocidad**, ***v***, del móvil es constante.

Por velocidad debés entender lo que siempre entendiste por velocidad (te lo pongo así porque -aunque no lo creas- el concepto de velocidad no es muy sencillo de definir matemáticamente... pero confío en que no hace falta: vos sabés a qué nos estamos refiriendo). Mirá el esquema:



Un móvil animado con un **MRU** avanza distancias iguales en tiempos iguales.

Un **gráfico *posición-tiempo*** típico de un **MRU** es el siguiente:



Cualquier recta oblicua bien puede representar un **MRU**. Si la inclinación es como ésta la llamamos ascendente o creciente y decimos que se trata de un movimiento de avance. Si la recta se inclina hacia abajo decimos que es descendente o decreciente y representa un movimiento de retroceso.

Si la recta fuese horizontal representaría un móvil que no cambia la posición, está detenido o en reposo. Aunque parezca ridículo también lo incluimos dentro de los **MRU**. La orientación prohibida es la vertical: indicaría que el móvil se encuentra en infinitas posiciones en un mismo instante... imposible.

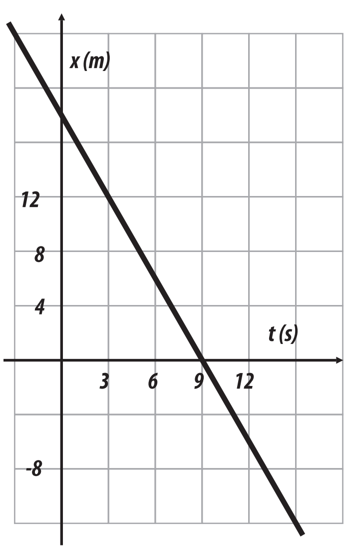
Fijate que la recta no necesariamente debe pasar por la posición ***x = 0*** en el instante ***t = 0***. Inventemos un ejempo, cuyos datos voy a volcar es esta **Tabla de Valores**:

x (m)	t (s)
0	9
–12	15
18	0
12	3
24	–3

EN MATEMÁTICA SE LE DICE *CURVA* A CUALQUIER GRÁFICA... AÚN SI SE TRATA DE UNA RECTA

Para inventar el ejemplo procedí de esta manera: hice un gráfico de un **MRU** sobre una cuadrícula procurando que coinciera con varios vértices. Después inventé una escala arbitraria y listo.

Si representamos los puntos en un gráfico aparece el que tenemos ahí abajo. Tratá de agregar vos tres o cuatro pares ***x–t*** simplemente con observar el gráfico.



Tal vez te diste cuenta que los pares que yo volqué en la tabla no tienen ningún orden preestablecido... La tabla de valores en una estantería para almacenar información relevante, pero en poca cantidad, para que sea fácil de buscar.

Ahora viene lo más saliente del **MRU**: si tomamos cualquier desplazamiento y lo dividimos por el intervalo de tiempo correspondiente a ese desplazamiento, siempre nos va a dar el mismo número; ese cociente es **constante** (independiente de los pares que elijas para considerar el desplazamiento y el intervalo)... ese cociente es la **velocidad media**, v_m, (que en el **MRU**-y sólo en el **MRU**- concuerda con la **velocidad** propiamente dicha.

$$v_m = \frac{\Delta x_{12}}{\Delta t_{12}} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Velocidad media igual desplazamiento sobre intervalo de tiempo correspondiente. Los subíndices sirven para remarcar esa correspondencia.

De la tabla de valores elijamos al azar dos pares cualesquiera y armemos el cociente. Por ejemplo el segundo y el tercer renglón de la tabla.

$$v_m = \frac{-12\ m - 18\ m}{15\ s - 0\ s} = -2\ \frac{m}{s}$$

Si lo hubiésemos armado al revés daba lo mismo:

$$v_m = \frac{18\ m - (-12\ m)}{0\ s - 15\ s} = -2\ \frac{m}{s}$$

Lo importante es que respetes la correspondencia entre cada posición y su instante. Probá vos con cualquier otro par de pares sacados de la tabla y vas a ver que el cociente da siempre lo mismo. En el **MRU** -y sólo en él- no hace falta recordar que se trata de la velocidad media y lo vamos a llamar directamente **velocidad**, v.

La herramienta cinemática que describe con mayor precisión y generosidad los movimientos es la **ecuación horaria**. En los **MRU** tiene siempre esta pinta:

$$x = x_o + v\,(t - t_o)$$

x y t son las **variables**. Si no aparecen, fuiste; no hay ecuación horaria. El resto: x_o, v y t_o, son **constantes**, o sea números. Con suerte te dan el valor de esas constantes. Si no te los dan, tal vez los puedas encontrar o quizás los puedas decidir vos. ¡Pero no son variables, son constantes! Es decir, una vez que te los dan, o que los encontrás, o que los decidís, ya está, son constantes, no cambian, valen siempre lo mismo... cómo querés que te lo diga...

En nuestro ejemplo de más arriba la velocidad era $v = -2\ m/s$, y podríamos tomar como x_o y t_o los que figuran en el cuarto renglón de la tabla ya que el único requisito que deben tener x_o y t_o son: corresponderse entre sí y ser pertenecer al movimiento. Nuestra ecuación quedaría así:

$$x = 12\ m - 2\ \frac{m}{s}\,(t - 3\ s)$$

eso es una ecuación horaria, no cabe duda, porque contiene x y contiene t. Además te puedo asegurar que $x_o = 12\ m$, $v = -2\ m/s$ y $t_o = 3\ s$.

También podríamos haberla armado eligiendo el quinto renglón de la tabla:

$$x = 24\ m - 2\ \frac{m}{s}\,(t + 3\ s)$$

CHISMES IMPORTANTES:

- La velocidad propiamente dicha, llamada **velocidad real**, (a veces también velocidad lineal o velocidad tangencial) no es un concepto sencillo de definir matemáticamente. Hay que hacer uso de herramientas matemáticas sofisticadas como el límite, o la derivada. Por suerte en el **MRU** no hace falta, porque coincide plenamente con el concepto de **velocidad media**, que matemáticamente es una pavada.
- ¿Por qué el modelo de ecuación horaria del **MRU** tiene la forma que tiene? Sencillamente, si la gráfica de un **MRU** es una recta oblicua, entonces la función matemática que describe ese movimiento no puede ser otra que la función de una recta... y eso es justamente lo que es.
- La **inclinación** de la recta (a los físicos les gusta llamarla **pendiente**) nos informa sobre la rapidez del movimiento: cuanto más inclinada más rápido es el movimiento; cuanto menos inclinada más lento es.

PREGUNTAS CAPCIOSAS:

- ¿Se podrá demostrar que las dos ecuaciones que escribí en este apunte son la misma? Entonces... será que cada movimiento tiene una y solo una ecuación horaria que lo describe... pero esa ecuación horaria se puede escribir de infinitas formas diferentes?
- ¿Qué movimientos de la naturaleza conocés, que sean **MRU**?

Si a cualquiera de las dos ecuaciones (que en realidad son la misma) le hacemos la misma pregunta, nos darán la misma respuesta. Por ejemplo; dónde se hallaría el móvil en el instante $t_6 = 5\ s$... En cualquiera de las dos, donde dice **t** escribimos ***5 s***, luego hacemos la cuentita, y del otro lado del igual aparece $x_6 = 8\ m$.

Los agregué en el último renglón de la tabla.

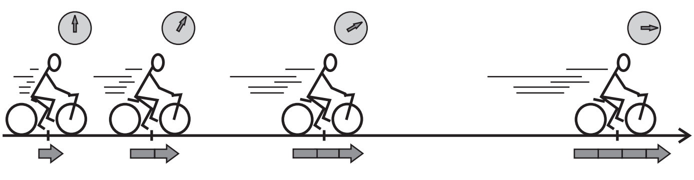
x (m)	*t (s)*
0	*9*
–12	*15*
18	*0*
12	*3*
24	*–3*
8	*5*

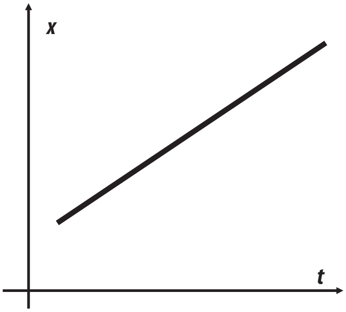
Fijate que siempre se puede distinguir qué es una constante y qué es una variable por la presencia de subíndice. t_6 vale ***5 s***. Le puse 6 al subíndice porque había que ponerle un nombre, sólo por eso; se me ocurrió 6, pero se me podría haber ocurrido ***10***, ***A***, ***Q***... pero elegí 6. Luego x_6 es la posición que se corresponde con ese instante. En cambio t es el símbolo de un conjunto infinito, representa a cualquier instante de tiempo, puede representar a t_o , t_6 , t_A , el minuto 34 o la hora 78.

Una ecuación horaria es una expresión capaz de decirte en qué posición se encuentra un móvil en cualquier instante de tiempo. Es un almacén de información cinemática, guarda infinitos pares de información posición-tiempo. Si de un movimiento cualquiera, vos conocés la ecuación horaria, ya está, ese movimiento no tiene más secretos para vos.

Movimiento rectilíneo uniformemente variado, MRUV

Se trata de un tipo de movimiento muy característico, que además de sencillo, aparece bastante seguido en la naturaleza. Su nombre lo caracteriza: la palabra **rectilíneo** indica que la **trayectoria** coincide con una recta; y la palabra **variado** alude a la velocidad, que ya no es constante... pero que varía **uniformemente**.





Ojo: la **velocidad** -ahora variable- ya no se puede homologar a la velocidad media. Mirá el esquema: en tiempos iguales, aumentos iguales de velocidad. Los desplazamientos ya no son iguales, dado que a mayor velocidad, tendremos mayores desplazamientos.

La flecha de abajo del ciclista representa la velocidad. Un gráfico **velocidad-tiempo** típico de un **MRUV** podría ser el siguiente:

Una recta oblicua bien puede representar un **MRUV**. Si la inclinación es como ésta la llamamos ascendente o creciente y decimos que se trata de un movimiento de aumento de velocidad; y a la inversa: descendente o decreciente, que se corresponde con disminuciones de la velocidad. Pero la inclinación nada nos informa sobre si el móvil avanza o retrocede.

Para saber si el móvil **avanza** o **retrocede** hay que prestar atención al **signo** de la **velocidad** (o sea, gráficamente: si está arriba o abajo del eje de los tiempos).

Si la recta fuese horizontal representaría un móvil que no cambia la velocidad, y en ese caso se trataría de un **MRU**. Aunque parezca ridículo también lo incluimos dentro de los **MRUV**. La orientación prohibida es la vertical: indicaría que el móvil posee infinitas velocidades en un mismo instante.

Fijate que la recta no necesariamente pasa por la posición $v = 0$ en el instante $t = 0$. Como ves, la **velocidad** se comporta en el **MRUV** como la **posición** en el **MRU**. Seguro que hay una ecuación horaria (la llamamos **segunda** ecuación horaria) que describe cómo varía la **velocidad** a través del **tiempo**:

$$v = v_o + a\,(t - t_o)$$

v y t son las variables. Si no aparecen, fuiste; no hay ecuación horaria. El resto: v_o, a y t_o, son constantes, o sea números. v_o y t_o son una velocidad cualquiera que el móvil tenga y el instante en que la haya tenido (o sea, se corresponden entre sí). Y a es la magnitud que describe el cambio de velocidad y se llama **aceleración**. Justamente, la característica fundamental del **MRUV** es $a = cte$. Gracias a eso, podemos calcularla como una aceleración media, a_m.

$$a_m = \frac{\Delta v_{12}}{\Delta t_{12}} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

LAS ***UNIDADES*** DE LA ACELERACIÓN SON m/s^2 O CUALQUIER OTRA UNIDAD DE LONGITUD SOBRE CUALQUIER UNIDAD DE TIEMPO AL CUADRADO

Lógicamente, el plato fuerte del **MRUV** es su primera ecuación horaria, que describe cuál es la posición del móvil en cualquier instante de tiempo. Es ésta:

$$x = x_o + v_o\,(t - t_o) + \tfrac{1}{2}\,a\,.\,(t - t_o)^2$$

x y ***t*** son las variables. Si no aparecen, fuiste, no hay ecuación horaria. El resto: x_o, v_o, a y t_o, son constantes, o sea números (con unidades). Con suerte te dan el valor de esas constantes. Si no te los dan, tal vez los puedas encontrar, o quizás los puedas **decidir** vos. ¡Pero no son variables, son constantes! Es decir, una vez que te los dan, o que los encontrás, o que los decidís, ya está, son constantes, no cambian, valen siempre lo mismo... cómo querés que te lo diga...

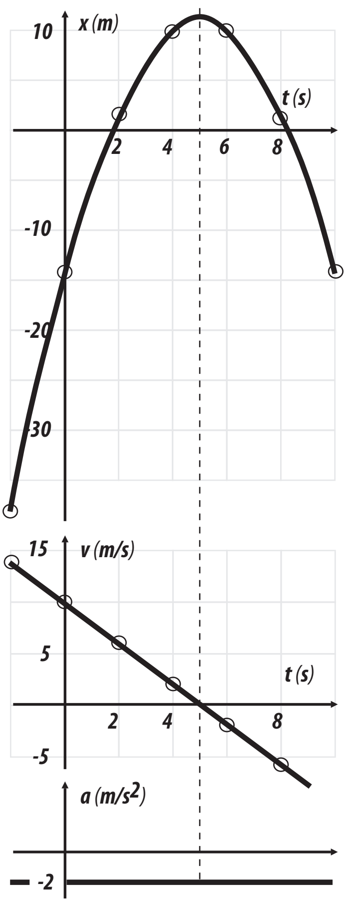
Te voy a presentar un ejemplo. Supongamos un **MRUV** en el que

$$x_o = 10\ m\ ,\ v_o = 2\ \frac{m}{s}\ ,\ a = -\,2\ \frac{m}{s^2}\ \ y\ t_o = 4\ s$$

Sus ecuaciones horarias serían las siguientes:

$$x = 10\ m + 2\ \frac{m}{s}\ .\ (t - 4\ s) - 1\ \frac{m}{s^2}\ .\ (t - 4\ s)^2$$

$$v = 2\ \frac{m}{s} - 2\ \frac{m}{s^2}\ .\ (t - 4\ s)$$



Le voy a ir dando valores a ***t*** y obteniendo las posiciones y velocidades correspondientes a esos instantes. Y los voy volcando en la tabla. Por ejemplo donde dice *t* (en *gris*) escribo ***–2 s***, y hago la cuentita. La de posición me da ***–38 m***, (tuve que escribir ***–2 s*** dos veces) y la de velocidad ***14 m/s***. Y así.

Vos podrías agregarles más preguntas a esas ecuaciones... por ejemplo para instantes impares.

t (s)	x (m)	v (m/s)
–2	–38	14
0	–14	10
2	2	6
4	10	2
6	10	–2
8	2	–6

HABRÁS NOTADO QUE *4S* NO ERA EL INICIO DEL MOVIMIENTO... NI TAMPOCO LO ERA *0s*

También voy volcando los valores encontrados a sendos gráficos ***posición-tiempo*** y ***velocidad-tiempo***.

Los puntos volcados en la gráfica de posición parecen encajar bastante bien en una curva conocida con el nombre de **parábola**. Efectivamente, la gráfica de una ecuación cuadrática -como la primera ecuación horaria- se representa con una parábola.

Toda parábola tiene un eje de simetría vertical que pasa por su vértice. En ese punto la inclinación de la parábola es nula: no va para arriba ni para abajo, está horizontal. Eso concuerda perfectamente con la idea de velocidad que nos daba la inclinación -pendiente- de la curva.

Veamos cómo coincide esta información de la rapidez dada por la inclinación, con la información de velocidad que nos brinda el gráfico de velocidades. La velocidad del móvil parece hacerse nula en el instante ***5 s,*** el mismo instante en que tenemos el vértice de la parábola.

Ahora prestale atención a los instantes ***0 s*** y ***2 s***. La velocidad disminuye (pasa de ***10*** a ***6 m/s***) y el móvil avanza (cada vez más lento) desde ***– 14*** hasta ***2 m***.

Y ahora prestale atención a los instantes ***6 s*** y ***8 s***. La velocidad disminuye (pasa de ***– 2*** a ***–6 m/s***... aumenta la rapidez, pero disminuye la velocidad) y el móvil retrocede (cada vez más rápido) desde ***10*** hasta ***2 m***.

Vayamos resumiendo:

Si la aceleración es positiva la velocidad (no la rapidez) aumentará siempre y en forma constante. La gráfica de posición será una parábola de concavidad positiva (sonriente).

Si la aceleración es negativa (como en nuestro ejemplo) la velocidad (no la rapidez) disminuirá siempre y en forma constante. La gráfica de posición será una parábola de concavidad negativa (triste).

CHISMES IMPORTANTES:

- Para hallar el modelo de ecuación horaria (1ra.) del **MRUV** es necesario hacer uso del concepto de *integración*, del análisis matemático. Sin embargo suelen encontrarse en los libros de texto del secundario desarrollos de tipo geométrico que pueden llegar a conformarte.
- Leete esta perla: "Podemos, en consecuencia, admitir la siguiente definición del movimiento del cual hemos de tratar: llamo movimiento igualmente, o lo que es lo mismo, uniformemente acelerado a aquel que, partiendo del reposo, adquiere en tiempos iguales iguales incrementos de velocidad". Galileo Galilei,*Dos nuevas ciencias*.

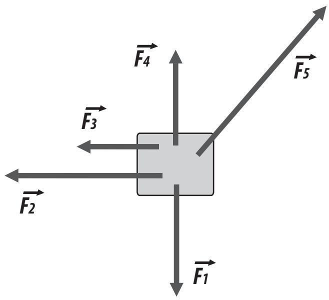
PREGUNTAS CAPCIOSAS:

¿Puede un cuerpo arrancar desde el reposo e ir cada vez más rápido con una aceleración negativa? (Ojo, que la respuesta es SI).

Dinámica

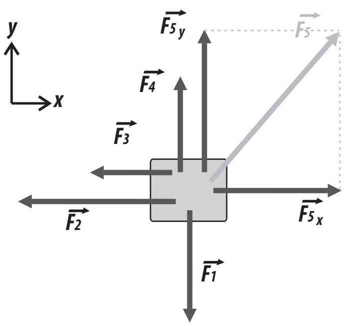
Diagrama de cuerpo libre

El *diagrama de cuerpo libre o desvinculado*, **DCL**, consiste en dibujar cada uno de los cuerpos que aparezca en un problema y sobre el cual querramos establecer su dinámica por separado (un **DCL** para cada uno), y sobre él indicar con vectores todas las fuerzas que obran



sobre el cuerpo (NO las que él ejerce sobre otros... ¡sólo las que él sufre, las que él recibe!).

Suelen tener esta pinta.



Es bueno no encimar los vectores. No hace falta que concurran todos en un punto. Es sólo una cuestión esquemática. Si encimaras por ejemplo F_2 con F_3 te quedaría muy engorroso y no alcanzarías a identificar correctamente las fuerzas. (Distinto sería el caso si estuvieras trabajando con cuerpos extensos, en los que sí importa el lugar exacto -dentro del cuerpo- sobre el que actúa la fuerza, cuerpos en los que la posibilidad de que haya rotaciones es cierta). Lo que sí importa es que el origen de cada vector lo dibujes adentro del cuerpo sobre el que se ejerce esa fuerza.

El esquema te va a guiar para establecer las ecuaciones de Newton, $\Sigma \vec{F} = m\, \vec{a}$, y digo *las* ecuaciones porque si las fuerzas no son codireccionales vas a tener que escribir dos ecuaciones por cada **DCL**, una para ***x*** y otra para **y**, según el **SR** que vos decidas. Luego, descomponer las fuerzas que no coincidan con las direcciones de los ejes.

Te conviene repetir los **DCLs** después de la descomposición. Acá lo tenés nuevamente pero sólo con las fuerzas que tienen la misma dirección que los ejes del **SR**.

Entonces me olvido de la fuerza F_5 que era muy molesta y que fue reemplazada por sus componentes F_{5x} y F_{5y}.

Ahora resulta muy fácil armar las ecuaciones de la 2da. Ley.

$$\Sigma F_x = m\, a_x \qquad\qquad F_{5x} - F_2 - F_3 = m\, a_x$$

$$\Sigma F_y = m\, a_y \qquad\qquad F_{5y} + F_4 - F_1 = m\, a_y$$

NO OLVIDES QUE ESTE CAPÍTULO DE LA *DINÁMICA* SE OCUPA DE CUERPOS PUNTUALES

En un **DCL** nunca tenés que dibujar vectores que no sean las fuerzas que actúan sobre el cuerpo. Si necesitás dibujar una aceleración, o más infrecuentemente una velocidad, hacelo cerca, pero **afuera** del cuerpo. ¿Ok? Sólo fuerzas.

El ejercicio 1.1 es especial para fijar el concepto de **DCL**, te lo recomiendo.

Fuerzas

La clave de la dinámica está en el *diagrama de cuerpo libre*, **DCL**... donde se dibujan las fuerzas, ¿pero **qué son las fuerzas**? La pregunta parece tarada, todo el mundo sabe qué son las fuerzas. Tampoco es difícil entender por qué se representan con flechitas (vectores), cualquiera se da cuenta de eso... Pero...

Creeme si te digo que el 80% de los fracasos en la resolución de problemas de dinámica surgen de lo siguiente:

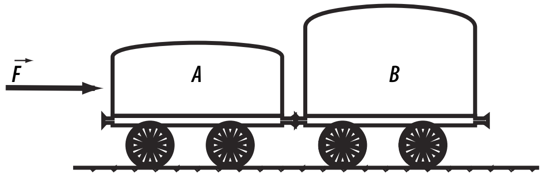
a) Los estudiantes suelen inventar fuerzas que en realidad no están actuando o directamente no existen.
b) Los estudiantes se saltean fuerzas que están actuando pero no llegaron a percibir su presencia.
c) Los estudiantes advierten la presencia de una fuerza pero la ubican mal, o le invierten el sentido o no se dan cuenta que es el par de interacción de otra fuerza conocida y por lo tanto no es una incógnita.

Te aseguro que el intríngulis de la dinámica está acá: en establecer las fuerzas con las que nos enfrentamos en cada ejercicio y hacerlo bien. Te voy a comentar los errores más comunes y darte algunos consejos del estilo *tómalo o déjalo*.

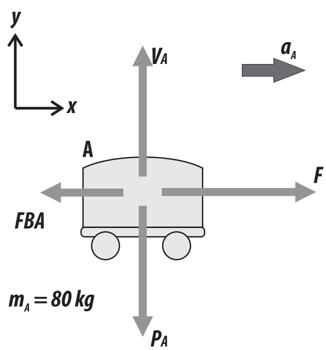
Las fuerzas no son entes corpóreos, tangibles, visibles, más bien son invenciones humanas para explicarnos los fenómenos naturales. Un tipo sometido a varias fuerzas, por ejemplo, no está atravesado con flechas como John Wayne en el final de la película. Cada vector tenés que razonarlo, deducirlo vos.

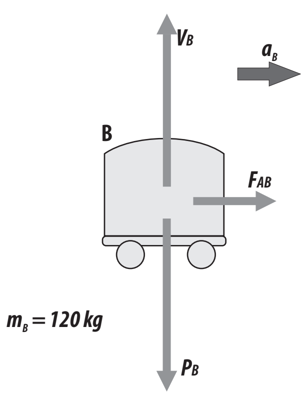
Para empezar tenés que hacerte a la idea de que por familiar que te resulte una fuerza tiene que haber un cuerpo que la ejerce, que la produce y otro cuerpo que la recibe, que la padece. Y cuando digo cuerpo (no te rías por lo que viene ahora) me refiero a algo tocable, visible, con masa, con color, con cierta dureza o cierta blandeza... un OBJETO, algo que exista... me entendés. No, parece que no. A ver... La gravedad ¿es un objeto? ¡Nooooo! ¡Bravooo! la gravedad no es un objeto, entonces no puede hacer ni recibir fuerzas. Vas entendiendo.

Todas las fuerzas que intervienen en la dinámica de un cuerpo hay que dibujarlas en un **DCL**. Por ejemplo estos dos que tomé prestados de un ejercicio en el que juegan dos carritos, el **A** y el **B**.



Dos carretones, A y B, cuyas masas son m_A = 80 kg, m_B = 120 kg, se encuentran uno junto al otro, como muestra la figura, apoyados sobre un piso horizontal sin rozamiento. Sobre el carretón A se aplica una fuerza horizontal de 30 kgf. Hallar la intensidad de la fuerza de contacto entre ambos.





Acá vienen los diagramas de cuerpo libre, fijate.

Voy a empezar analizando las fuerzas que obran sobre el carrito **A**. Aparece una fuerza horizontal hacia la derecha llamada ***F***. Me pregunto ¿quién hace esa fuerza? No lo sé pero esa es justamente un dato del problema que dice "sobre el carretón **A** se aplica una fuerza..." o sea el autor del problema certifica la existencia de esa fuerza. Alguien o algo la estará haciendo, una locomotora, Tarzán, lo que sea, pero algo o alguien la hace.

F_{BA} es la fuerza que el carro **B** le hace a **A**. En la situación del problema se están tocando, de ahí sale esa fuerza.

P_A es el peso de **A**. Quién tira de **A** hacia abajo... la Tierra... bien ése es el objeto, redondo, voluminoso, soleado, bonito...

V_A es la fuerza que las vías hacen sobre el carrito **A**. ¿Qué otra fuerza actúa sobre **A**? Seguro que si hago esa pregunta en clase algún osado contesta "¡la normal!", Ok, le respondo , y la dibujo... (una flechita vertical hacia arriba) y después le pregunto "¿y quién hace esa fuerza, quién empuja al carrito hacia arriba...? Esa pregunta no tiene respuesta eso indica que estabas a punto de inventar una fuerza. La borramos.

Alguno, en ayuda de su compañero puede decir "¡las vías!" "macanudo, pero a esa fuerza ya la pusimos y la llamamos V_A... ¿no te gusta el nombre? ¿querés llamarla normal? Ponele el nombre que quieras (dentro de ciertos límites)... ¡pero no la pongas dos veces!

Insisto con la pregunta ¿qué otra fuerza? "La fuerza de la velocidad", "Y quién la ejerce, quién la ejecuta", ¿no hay quién?, entonces no existe. Y así.

Nunca llames con el mismo nombre a dos fuerzas diferentes. En este problema, por ejemplo, el 65,3% de los estudiantes que hacen **DCL** llaman ***P*** al peso de cada carrito... MAL. En álgebra, que es el idioma de la física, ***P* = *P***. Son dos fuerzas diferentes, tienen que tener nombre diferente. Podrían valer lo mismo, pero aún así deben tener nombres distintos. Usá los subíndices, están para eso.

Algunos mocosos insolentes me responden (se me está pegando el personaje del maestro Ciruela) "pero si yo sé a qué cuerpo me estoy refiriendo, cuando lo reemplace le voy a poner a cada uno el valor que le corresponde". Igual está mal.

Tal vez vos no lo sepas, pero lo que tenés que aprender es a confeccionar un mensaje para otro, no para vos. Eso no quita que escribiste un error matemático, y está muy bien que tu profesor te lo corrija. Pero además no te olvides de que cada fuerza que vos encuentres se convierte en un número que después se va a viajar por un bosque de desarrollos algebraicos. Lo más probable es que se confundan y se pierdan.

Cuando dos cuerpos interactúan entre sí, y de ambos te interesa su dinámica (como en este caso de los carretones) la mejor manera de denominar las fuerzas es con el doble subíndice, que además denuncia claramente su filiación de par de interacción... el módulo de F_{BA} es igual al de F_{AB}.

Tengo más consejos pero también la sensación de que ya estás podrido. La práctica te dará el resto. Te felicito por haber llegado hasta acá.

Leyes de Newton

Las ***Leyes de Newton***, atribuidas a Isaac Newton (1643-1727), tienen, en realidad, demasiados autores. Pero fue Newton quien se las puso al hombro (y al bolsillo), las explotó y las utilizó en su conjunto, edificando con ellas una Teoría Mecánica (conocidad actualmente como ***Mecánica Clásica***) que goza de excelente salud y que seguimos utilizando con todo éxito.

Además de su probada utilidad y eficacia constituye un ejemplo arquetípico de *teoría* (epistemológicamente hablando), destacada por su belleza intrínseca, ya que con muy pocas premisas (o principios) algebraicamente sencillas, logra una explicación muy acabada del universo.

Son en total cuatro leyes. Se llaman también ***principios*** porque no se pueden probar a partir de leyes anteriores o más básicas, pero que el universo cumple a rajatabla, aunque no sepamos por qué. Voy a presentar los tres primeros aquí, y el cuarto, gravitación universal, aparte.

Primera *Ley de la Dinámica*, o *Ley de la inercia*, o *Principio de Galileo*

Ya te imaginaste quién fue el que lo cocinó unas décadas antes que Newton. Hay decenas de redacciones alternativas. Acá va la mía.

CHISMES IMPORTANTES:

- El concepto de fuerza fue introducido originalmente por Arquímedes, aunque únicamente en términos estáticos. Galileo fue el primero en dar una definición dinámica. Se considera que el primero que formuló matemáticamente la moderna definición de fuerza fue Newton.

- Actualmente se reconoce básicamente la existencia de cuatro fuerzas fundamentales: la fuerza gravitatoria, la electromagnética, la nuclear débil y la nuclear fuerte. La gravitatoria modela el universo en su escala macroscópica. La electromagnética gobierna la estructura de la materia desde la escala atómica hasta la molecular y particular. Las nucleares gobiernan la escala subatómica. Y después está la fuerza de voluntad, te das una idea.

PREGUNTAS CAPCIOSAS:

- ¿En qué unidades se miden las fuerzas?

Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza, o actúan varias pero que se compensan entre sí, entonces el cuerpo permanecerá en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme. Y viceversa.

$$\boxed{\Sigma\vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{a} = 0}$$

Abajo hay un chisme requeteimportante sobre este Principio.

Segunda *Ley de la Dinámica*, o *Ley de la masa*, o *Principio de Newton*

Se llama *de la masa*, porque en él juega un papel importantísimo esa propiedad de la materia llamada masa, que nadie sabe qué es (abajo hay un chisme sobre la masa, que aclara y que oscurece), pero no hace falta, tenemos una idea aproximada.

La sumatoria de todas las fuerzas que recibe un cuerpo es igual al producto de la masa del cuerpo por su aceleración.

$$\boxed{\Sigma\vec{F} = m\,\vec{a}}$$

La Segunda Ley es una ecuación vectorial: dice que la sumatoria de todas las fuerzas que recibe un cuerpo es igual al producto de su masa por su aceleración, y que la dirección y el sentido de la resultante (la suma de todas las fuerzas) es igual a la dirección y el sentido de la aceleración (la masa es un escalar). En muchos textos, sin embargo (y también en este sitio) aparece esa misma expresión pero escrita sin la notación vectorial, así: $\Sigma F = m\,a$. Es perdonable, no trae graves consecuencias.

Lo que no es perdonable es que en muchos textos te presenten la Ley así:

$$\boxed{F = m\,a}$$

(MAL, PESIMO, EXECRABLE, SENSURABLE, IMPERDONABLE)

Esa expresión tiene validez únicamente en aquellos casos en los que hay una única fuerza actuando sobre un cuerpo. No puede ser presentado como una ley (de validez eterna y universal). Además lleva a una confusión muy negativa: hace creer que se trata de una propiedad de las fuerzas (como si cada fuerza tuviese una aceleración), cuando se trata de una propiedad de los cuerpos. A cada **cuerpo** se aplica la Ley, **no** a cada fuerza.

Podría, en todo caso, representarla así: $R = m\,a$, aclarando que R significa *Resultante* y no es otra cosa que la sumatoria de todas las fuerzas que están actuando sobre un cuerpo. $R = \Sigma F$.

CHISMES IMPORTANTES:

- A golpe de vista, pareciera que el Primer Principio es apenas un caso particular del Segundo. Efectivamente, partiendo de la Segunda Ley, si $\Sigma F = 0$, lo que debe valer cero es la aceleración, ya que la masa no puede valer cero... Sin embargo el primer principio es el que asegura la existencia de los otros dos, y exige el establecimiento de un ***Sistema de Referencia*** acorde. Puede ocurrir que la elección del **SR** (por ejemplo uno montado en una calesita o en un tren que arranca) nos lleve a un universo en el que no se cumplen las Leyes de Newton. Esos sistemas -que son ampliamente estudiados- se llaman ***Sistemas No Inerciales***. Vos dejalos para más adelante.
- Tanto masa como *fuerza* son magnitudes dificilísimas de definir. Con sólo fefinir una de las dos basta, ya que la otra saldría definida por inferencia utilizando la Segunda Ley. El pobre Newton se murió muy triste sabiendo que su teoría hacía agua por el agujero de la falta de definición para esas dos magnitudes tan importantes en la Mecánica. Hubo que esperar 200 años para que un físico llamado Ernst Mach (1838-1916) lograse una definición de masa que convenciese a la comunidad científica. Sin embargo Newton se las arregló perfectamente con la aproximación más intuitiva del concepto de masa: *es un escalar -un número- que nos indica la cantidad de materia que forma a un cuerpo.*
- Leete la definición de Mach de la masa: "la masa inercial no es una característica intrínseca de un móvil, sino una medida de su acoplamiento con el resto del universo". Señor Mach: ¿usted me quiere volver loco?
- Una de las inferencias inmediatas del Principio de Acción y Reacción, es que los pares de interacción **nunca** están aplicados sobre el **mismo** cuerpo. Siempre estan aplicados en distintos cuerpos (justamente: los que están interactuando).

Tercera *Ley de la Dinámica*, o *Principio de Acción y Reacción*

Si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, el otro aplica una fuerza sobre el primero de igual módulo, igual dirección y sentido opuesto a la que el primero ejerce sobre él.

De los tres principios es el más revelador de la naturaleza de las fuerzas. En realidad deberíamos hablar de interacciones. Siempre entre dos cuerpos: se atraen, o se repelen, o se empujan, o se tocan, o se chocan, o lo que sea... pero siempre entre dos cuerpos. Entonces aparecen dos fuerzas (el par de fuerzas de la interacción), una sobre cada cuerpo de los que están interactuando.

$$\boxed{\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}}$$

Parece que el universo es un pandemonium de venganzas, en el que reina la *Ley de Talion*.

PREGUNTAS CAPCIOSAS:

- Si cada vez que aparece una fuerza cualquiera, aparece también una fuerza igual y contraria... ¿cómo es posible que las cosas se muevan?
- Si cuando una mariposa choca contra el parabrisas la fuerza que cada uno le hace al otro tiene la misma intensidad... ¿por qué la mariposa se hace moco y el parabrisa sigue sano sin mosquearse?
- ¿Qué aspecto de la definición de masa de Mach inspiró en Einstein la Teoría de la Relatividad General?

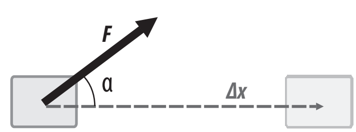
Trabajo y energía

Leyes de conservación

Trabajo

Trabajo en física no es lo mismo que en el lenguaje coloquial. La diferencia fundamental es que en el lenguaje coloquial el trabajo es el producto de una persona, o de un animal o de un cuerpo. En física, trabajo es un atributo de una fuerza (voy a volver sobre esto, que es muy importante). Se suele representar con ***L*** o con ***W***, y con un subíndice se aclara la fuerza a la que pertenece el trabajo expresado. Por ejemplo: W_F (el trabajo de la fuerza ***F***) o W_{Res} (el trabajo de la fuerza Resultante) y así.

Para que haya un trabajo distinto de cero tiene que haber un desplazamiento del cuerpo sobre el que se ejerce la fuerza. Por ejemplo en la situación siguiente:



Se define el trabajo de la siguiente marera (válida exclusivamente para fuerzas constantes):

$$\boxed{W_F = F \,.\, \Delta x \,.\, \cos\alpha}$$ sólo para fuerzas constantes