Segunda Ley de Newton

Profesor Cutberto Zoilo Ramírez Maldonado
Área de Ciencias Experimentales:
Física I-IV
Plantel Sur
zoilorm@yahoo.com.mx

Resumen

En continuidad al artículo anterior, el autor nos presenta un ejemplo del tratamiento didáctico diseñado para el abordaje de la Segunda Ley de Newton, un contenido que, como lo comenta en el texto anterior, es un pilar de las ciencias físicas y juega un papel en la cultura contemporánea, pero presenta un alto nivel de dificultad en su comprensión para los alumnos debido a su complejidad. El ejemplo nos permite constatar la importancia que para el aprendizaje tiene que los contenidos se aborden a partir de situaciones en las que el alumno esté en el centro, en las que juegue un papel activo y se relacionen con su realidad cotidiana.

Palabras clave: Segunda Ley de Newton, rapidez, magnitud, cambio, tiempo, intensidad, situaciones cotidianas.

Primera parte

Esta famosa ley tiene muchos aspectos. Vamos a ir por partes, su profundidad la hace compleja y no es posible, para nadie, "tragarla" de un bocado: se le atora, a todo el que lo intente, en la *garganta* cognitiva.

Su corazón es éste: *los cambios **muy rápidos** dependen de fuerzas **intensas.*** La segunda ley —también conocida como *ley de las fuerzas*— se forma con muchas partes, pero la principal es con la que comenzaremos. Hablamos de la **rapidez** con la que ocurren cambios en los movimientos mecánicos, como cuando una pelota que se mueve con cierta velocidad choca contra una pared. La pelota tenía un movimiento ANTES del choque y otro diferente DESPUÉS; ¿cuándo ocurrió el cambio del primero al segundo? **Durante el choque,** por lo tanto, las fuerzas de la que habla esta ley son las que actúan mientras dura el contacto entre la pelota y la pared.

Para hacerse una idea sobre la rapidez con la que ocurre un cambio de movimiento hacen falta dos piezas: la magnitud del cambio (qué tan grande es el cambio) y el tiempo en el que se realiza el cambio. Con estas dos piezas determinamos la **rapidez con la que sucedió el cambio**: el núcleo de esta ley es identificar esta rapidez de un

cambio. Los cambios que duran MÁS tiempo en realizarse son MENOS violentos, es decir: involucran fuerzas más débiles o menos intensas. Por el contrario, los que ocurren en tiempos más cortos, son MÁS violentos e implican fuerzas más intensas.

Empezaremos a exponer la idea central de esta ley comparando tres cambios de movimiento. Los tres cambios ocurrirán al mismo vehículo (un coche, digamos). Supondremos un movimiento inicial, en los tres casos, de 80 km/h; en los tres casos el movimiento final será el de reposo respecto del pavimento. En los tres procesos la **magnitud del cambio** es la misma: cambio de 80 hasta 0 km/h. Recuerda que la otra pieza para evaluar la *rapidez del cambio* es el tiempo que dura el cambio; como es el mismo objeto el que tiene un cambio en su movimiento y, además, el valor del cambio es igual en los tres casos, concentra tu atención en sólo un elemento: el tiempo que dure en ocurrir el cambio.

Estos son los tres casos:

Caso 1: el conductor *mete frenos* muy suavemente y el coche tarda en detenerse, desde 80 km/h hasta que queda inmóvil, **40 segundos** (más de medio minuto).

Caso 2: ahora el frenado es muy violento: en sólo **2 segundos** pasa de su velocidad inicial de 80 km/h hasta el reposo. El tiempo que tarda el cambio es 20 veces **menor**; su violencia creció.

Caso 3: esta vez choca contra una pared rocosa. La duración del impacto es de **0.02 s**; ¡Cien veces más breve que en el Caso 2, es decir: 2000 veces más violento que en el Caso 1!

Recuerda que estudiamos la **ley de las fuerzas**, así que concentrémonos en la relación entre el tiempo que dura el cambio y las fuerzas que intervienen.

En el Caso 1 las fuerzas se presentan en dos partes: en el sistema de frenos del coche y, como consecuencia, entre llantas y pavimento. Por la gran duración (40 s) el cambio es mínimamente violento, muy *suave* y, por lo tanto, -dice Newton- las fuerzas son débiles; las consecuencias de estas fuerzas son mínimas por ser débiles. No hay aquí cambios *bruscos* sino más bien pausados, tranquilos; las fuerzas que los producen son débiles o pequeñas y sus consecuencias son mínimas: las piezas del freno casi no se desgastan y las llantas rozan ligeramente el suelo.

En el Caso 2 (2 s) las fuerzas también se concentran en los frenos del coche y entre llantas y pavimento. Pero el *chirrido* de las llantas ya es espectacular: sonido intenso y producción de humo por el *frenazo*; si una pieza de los frenos es vieja se pudo quebrar. Las fuerzas son 20 veces más intensas que las del Caso 1. (Recuerda que comparamos el mismo coche y el *tamaño* del cambio es también igual).

El Caso 3 ya es otra cosa. Sus fuerzas son 100 veces más intensas que en el 2, pero 2000 veces más grandes que las del 1, a causa de que ahora el cambio ocurre en sólo **dos centésimas de segundo**; ya no bastan fuerzas en frenos y llantas, podrían ni intervenir. Este caso se presenta en un **choque**. Ahora las fuerzas actúan en muchas piezas de la carrocería, los vidrios, portezuelas, quizá el motor... y, por supuesto, en el obstáculo contra el que choca el auto, que puede ser una roca, otro vehículo, un árbol… los tripulantes también quedan involucrados. Las consecuencias de este tercer caso son desastrosas: las fuerzas, muy intensas, deforman la carrocería, quiebran vidrios y quizá huesos de los tripulantes.

En este último caso es ilustrativo conocer el efecto de los cinturones de seguridad y bolsas de aire: quienes se protejan con ellos salen mejor librados. ¿Por qué los protegen? Porque hacen que el cambio de movimiento **tarde** más en terminar, es decir, **alentan** el cambio para ellos, hacen que dure un poco más tiempo: otra vez la 2ª Nw. Es muy claro que, si el cambio para los tripulantes sucede, por ejemplo, en tres centésimas de segundo y no en dos, las fuerzas que los afectan valdrán **menos** que las fuerzas que dañan al resto del coche.

Comparando las consecuencias de las fuerzas en cada caso vemos la idea principal de la segunda ley de Newton: a mayor violencia, mayor intensidad de las fuerzas; o sea: mientras el cambio dure **menos tiempo** las fuerzas que producen el cambio son **mayores o más intensas.**

También podemos ilustrar esta ley imaginándonos -mejor todavía si puedes reproducirlo *en vivo,* aunque no puedas usar muchas pelotas diferentes- pelotas que rebotan en una pared. Ya mencionamos el ejemplo al inicio; analicémoslo más en detalle.

Vámonos a casos extremos: Caso A: pensemos que la pared está muy acolchonada y que la pelota no está completamente inflada. Caso B: la pared es MUY rígida, por ejemplo, de concreto armado y la pelota es de un plástico que no se deforma (no la podemos *apachurrar)*. El choque del Caso A será menos violento que el del Caso B, porque dura **más** tiempo sucediendo; en otras palabras, el A sucede más lentamente que el B. Lo que la grandiosa Segunda Ley de Newton dice es que las fuerzas involucradas en el Caso A son de MENOR INTENSIDAD que las otras fuerzas, o sea que las fuerzas del choque B son más intensas. Una experiencia general ocurre con los vidrios de ventanas cuando pega una pelota: el mismo vidrio se quiebra más fácil en el caso B porque el cambio de movimiento es en menos tiempo y esto sólo ocurre con fuerzas más intensas.

En ambos casos hay un evidente cambio de movimiento: la pelota va inicialmente en una dirección y, luego del choque, se mueve en el sentido contrario (quizá hasta la

velocidad de cada parte del movimiento es diferente, por ejemplo, puede ir más lento "de regreso"). La 2ª Nw asegura dos cosas:

a) puesto que hay cambio del movimiento en ambos casos, en los dos tienen que intervenir fuerzas; si no aparecieran fuerzas, sería IMPOSIBLE que hubiera cambiado el movimiento.

b) La intensidad de las fuerzas causantes del cambio es **directamente proporcional** a la rapidez con la que ocurra el cambio: mientras más rápido sea el cambio, más intensas son las fuerzas y, al revés, cuando el cambio ocurra más lentamente, las fuerzas serán menos intensas.

c) El tiempo que dura ocurriendo el cambio es **menor** mientras la fuerza sea **mayor** (es decir: más intensa); hay una **relación inversa** entre el tiempo del cambio y la magnitud de la fuerza.

Hemos visto los cambios en el frenado del coche y los rebotes de pelota, pero la 2ª Nw se refiere a TODOS los cambios de movimiento que ocurren en la vida diaria, en una fábrica, en el movimiento de los planetas, en movimientos de moléculas… en fin, en cuanto se le ocurra a uno o pueda oír que se menciona en cualquier país o época histórica. En una palabra: en TODO. Un caso que conviene mencionar es que en el movimiento de las partículas "subatómicas" (electrones, protones, etc.) esta ley se aplica con un procedimiento matemático especial, pero su **alma** se conserva.

Todos conocemos la diferencia en los movimientos entre los jóvenes y los adultos mayores: el mayor inicia sus actos con mayor lentitud, es decir tarda más en reaccionar porque sus músculos, en la mayor parte de los casos, tienen menos fuerza que los del joven; de nuevo: con fuerzas menos intensas más tiempo dura en ocurrir el cambio, otra vez la **proporción inversa**.

Segunda parte

En los impactos de diversos objetos contra obstáculos volvemos a identificar la segunda ley de Newton, conforme vayan más rápido los móviles ocurrirá un cambio **mayor** y ello se relaciona con fuerzas **más intensas** por lo cual tienen consecuencias más dramáticas.

Recapitulemos. La magnitud de la fuerza es directamente proporcional a la *violencia* del cambio. Idea sencilla, pero nos deja un problema: ¿qué es la *violencia*? Es cosa difícil, por eso vamos por partes y un poco lento. La *violencia* de un cambio de movimiento tienes dos partes (como se dijo): la **magnitud del cambio** y **el tiempo que tarda en ocurrir o darse el cambio.** Usamos el concepto de *violencia* como puente,

porque tenemos la imagen muy clara de que los cambios *violentos* ocurren en lapsos de tiempo muy cortos, son cambios muy rápidos.

El ejemplo típico de un cambio *violento* es el producido por una explosión. Un cohete de feria, por ejemplo, *truena* en un lapso muy breve; las bombas bélicas o cualquier explosión, ocurre sin darle tiempo a nadie para reaccionar. En todos estos casos el cambio consiste en que algo inmóvil (con velocidad 0 m/s) adquiere una velocidad importante en un lapso breve; como todavía no concentramos la atención en la "magnitud del cambio" usamos el concepto de *violencia* para destacar la brevedad del tiempo implicada en lo *violento* del cambio. Adelante usaremos todos los elementos y usaremos los nombres técnicos.

Para darle mejor fundamento a la comprensión de la 2ª Nw conviene afirmar el concepto de cambio de un movimiento mecánico. Si un objeto está inmóvil y sigue así, es obvio que no le ocurre ningún cambio; pero si se está moviendo y **continúa moviéndose igual** tampoco hay cambio, no importa que el movimiento sea tan rápido como lo puedas imaginar, mientras siga igual NO HAY CAMBIO. Así que la *violencia* en el cambio de un movimiento es completamente diferente a la rapidez del movimiento.

La rapidez forma parte de otro concepto muy importante que es la velocidad. Adelante lo precisaremos, por el momento lo importante es que la rapidez o la velocidad nos indican una propiedad de todo movimiento (recuerda, lo inmóvil tiene V = 0 m/s) y que mientras un objeto en movimiento siga con igual rapidez NO CAMBIA su movimiento. De estas situaciones NO habla la 2ª Nw, sólo se refiere a los cambios en el movimiento de un móvil; estos cambios tienen su propia duración, pueden ser cambios rápidos o violentos, pero también pueden ocurrir en lapsos largos de tiempo y podríamos calificarlos como *suaves*, pero así no llegamos lejos. Tanto "violento" como "suave" son conceptos **sin cuantificar**: no podemos medirlos y asignarles un valor NUMÉRICO. La física necesita **cantidades precisas**, éste es uno de sus instrumentos que la hacen tan poderosos.

Por el momento, lo importante es que los lapsos de tiempo breves se relacionan con fuerzas intensas. Es decir, una fuerza intensa hace pequeño el tiempo en que ocurre un cambio o, lo que es lo mismo, si un cambio se realiza en poco tiempo es que fue producido por una fuerza intensa.

Un ejercicio útil es que identifiques CAMBIOS DE MOVIMIENTO en las cosas que te sean familiares, en tu hogar, escuela, deporte o toda actividad que hagas. Trata de identificar la fuerza que produce cada uno de estos cambios, pero no te preocupes si no puedes identificar con claridad las fuerzas, ahora lo importante es **enfocar** el CAMBIO. Trata de escribir en qué consisten los cambios principales. Son dos componentes lo importante: magnitud del cambio y tiempo en el que sucede.

Tercera parte

Vamos a trabajar con la **intensidad de una fuerza.** En la vida diaria estamos acostumbrados a identificar la intensidad de las fuerzas porque hay muchas consecuencias que nos indican qué tan intensas son: las fuerzas más intensas producen sonidos, quebraduras, dolores. Hay fuerzas intensas en golpes, deformaciones, objetos de gran masa y otras situaciones, pero aquí vamos a **enfocar** la atención en las fuerzas relacionadas con movimientos mecánicos: de una raqueta, bate o la mano sobre una pelota; de movimientos en el hogar (cocina, recámaras, etc.); en cualquier oficio que conozcas; en los transportes, ya sea como pasajero o viendo el movimiento de vehículos.

Un ejemplo obvio son las caídas: nacemos con un instinto de temor a las alturas que la evolución de las especies nos hereda, porque asociamos las caídas de mayor altura con peores consecuencias: dolores, fracturas… a mayor altura, mayores son las fuerzas al caer, es decir, durante el lapso en que la primera parte de nuestro cuerpo toca el suelo y cuando quedamos inmóviles. Cuando sea inevitable caer de una altura peligrosa un remedio es doblar las piernas para *amortiguar* la caída, porque así hacemos que *tarde más* el cambio de venirse moviendo hacia abajo y, luego del choque, dejar de moverse con respecto al suelo: hacemos más lento al cambio, menos *violento.* Las fuerzas del impacto violento son más intensas que las del choque *amortiguado*.

Los cambios de velocidad de vehículos ilustran las fuerzas más o menos intensas. Un coche inmóvil puede echar a andar de dos formas: *suave* o *bruscamente*; en ambos casos una fuerza muy importante es la de fricción entre las llantas y el pavimento. La fuerza de fricción en el *cambio lento* es de menor intensidad, pero la del cambio violento pueden ser tan intensa que el caucho se calienta tanto que se quema; también el asfalto se calienta. Lo intenso de las fuerzas produce efectos diferentes.

La caída de objetos al piso también es ilustrativa. Lo que caiga de una mesa, del techo o de nuestra mano gana velocidad conforme más tiempo dure cayendo. El tiempo que dure el choque de algo que cae con el piso es breve y difícil de medir, así que vamos a simplificar el estudio suponiendo que todos los choques duran igual tiempo; como las cosas caen de diferentes alturas, mientras lleven mayor velocidad al instante de chocar **mayor es la magnitud del cambio** porque luego del choque todo queda inmóvil (velocidad cero) pero antes del choque se movía más rápido el que cayera de mayor altura y su cambio de movimiento es **más grande**. Las fuerzas del choque son mayores conforme más grande sea el cambio del movimiento de lo que caiga, por lo tanto, las fuerzas de la mayor caída son más intensas: los objetos pueden quebrarse por las fuerzas mayores, es sonido es mayor también y hay, en

general, efectos más notorios cuando las fuerzas del choque contra el piso sean más grandes o, mejor dicho: **más intensas.**

El ejercicio ahora es dejar caer objetos desde diferentes alturas e identificar los **diferentes efectos**, los causados por fuerzas de choque más o menos intensas. Las fuerzas más intensas corresponden a las mayores alturas.

Cuarta parte

Además del concepto de **fuerza**, otro básico es el de la **aceleración**. Si comprendes estos dos conceptos: fuerza y aceleración, ya *vas de gane* con la 2ª Nw.

Hemos mencionado que los *cambios de movimiento* tienen magnitud: si algo se mueve lentamente y su cambio consiste en detenerse (quedar con velocidad cero) su cambio es "pequeño", pero cuando una bala choca y termina en reposo tuvo un cambio muy grande: iba muy rápido y terminó inmóvil, igual que el objeto lento. Un ejemplo de cambio pequeño es el de un vehículo (coche, bici…, lo que sea) en movimiento lento que se detiene de alguna forma; si el mismo vehículo cambia su movimiento de muy rápido a quedar inmóvil ocurre un cambio de mayor magnitud.

Pero estudiando los fenómenos como en el párrafo anterior no se llega lejos. Esto del "tamaño de movimiento" es poco preciso; la física debe su éxito a que no se conforma con ideas vagas. Recuerda que el mayor poderío de la física se demuestra cuando puede **cuantificar** los conceptos que usa en sus leyes; una de las más poderosas es la que estamos estudiando, así que es fácil darse cuenta de que necesitamos más precisión para dejar de hablar de cambios de movimiento *mayores* o *menores*. Hemos de poder **medirlos.**

El nuevo paso es definir la **aceleración** ya mencionada y de la que has oído varias veces en tu vida. Es una **rapidez:** la rapidez con la que ocurre un cambio de movimiento mecánico; usamos el concepto de *rapidez* en muchas situaciones: al leer, comer, caminar, hablar… también tienen rapidez los autos, el viento, los ríos, el avance de los animales, los planetas…

Cualquier **rapidez** tiene dos componentes: la cantidad que cambia y el tiempo en que ocurre el cambio. Se come "rápido" cuando la cantidad de comida es bastante y se ingiere en *poco* tiempo, así que hay dos formas de *aumentar la rapidez* al comer: más comida y menos tiempo, es una RELACIÓN entre estas dos cantidades. Al escribir también hay rapidez y se define de igual manera: es una relación entre el número de palabras escritas y el tiempo usado; a nadie se le ocurre ser "más rápido" para escribir porque sólo pinta una rayita en su cuaderno. También hay dos formas de modificar una rapidez al escribir: más palabras o menos tiempo invertido, los dos cambios producen aumento en la rapidez.

Una forma cómoda de comparar dos rapideces (por ejemplo, la rapidez de lectura de dos estudiantes) es FIJAR una de las dos cantidades: el número de palabras leídas o el tiempo usado. Para decidir, observa esta relación: la rapidez **mayor** se relacionará con **mayor** cantidad de palabras, es decir, a más palabras más grande la rapidez, la relación es DIRECTA, mientras que con el tiempo sucede otra cosa: la **mayor** rapidez le corresponde al **menor** tiempo y, por lo tanto, la relación entre rapidez y tiempo es INVERSA: si el tiempo aumenta, la rapidez disminuye. Por esto, es más cómodo y se usa más en la práctica, fijar el tiempo (a un minuto casi siempre) y hacer tablas de *rapidez de lectura* indicando el número de palabras leídas *por minuto*, o sea durante un minuto. Se podría hacer lo contrario: dar al alumn@ un texto con 1000 palabras, por ejemplo, y medirle el tiempo usado (en unidades de minuto), pero entonces calcularemos su rapidez **dividiendo** las 1000 palabras entre el tiempo necesitado; esto se aclara recordando que la relación entre rapidez y tiempo usado es INVERSA: a más tiempo corresponde menor rapidez.

De cuando estudiaste "relaciones y proporciones", tal vez recuerdes que si dos relaciones son proporcionales se puede encontrar una "constante de proporcionalidad directa". Por ejemplo, la relación o razón 12/4 es proporcional a la relación 11.1/3.7 porque si hacemos la división de 12 entre 4 (tres) obtenemos igual cantidad al hacer la división de 11.1 entre 3.7; la constante de proporcionalidad entre las dos relaciones es el cociente, que tiene el mismo valor en ambos casos, por eso se le dice *constante*. Si alguien lee 350 palabras en 3.5 minutos (3 min y 30 s) su rapidez (350÷3.5) es de 100 palabras/minuto; como ecuación: R= NP/t , R es la rapidez, NP el número de palabras leídas y t el tiempo, en minutos.

Cualquier rapidez, al formarse por dos piezas: la cantidad "procesada" (masa de comida, palabras escritas o leídas, agua desplazada en un río, masa del aire que pasa por cierto punto…) y el tiempo usado en el proceso, constituye, también, una relación o razón, porque definimos la rapidez como la cantidad de "algo" procesado en cierto tiempo: palabras por minuto (tradúcelo así: CADA minuto), litros por segundo (tradúcelo también), kilómetros por hora, kilogramos de peso perdidos por mes. En todos los casos tenemos dos formas de medir una rapidez: como razón (315 bocados/225 segundos) o, de forma más simple, haciendo la división: 1.4 bocados/s.

La aceleración mecánica se define como **la rapidez con la que cambia la velocidad** de cualquier objeto en movimiento. Usaremos metro (m) para distancias y segundo (s) para los lapsos necesarios para que el objeto recorra las distancias, así que la velocidad se mide en m/s y la ecuación correspondiente es $V= \Delta d/\Delta t$, donde usamos Δd (el símbolo Δ es la letra griega "delta" en mayúsculas y esto se lee así: "delta d") para remarcar que en esta ecuación se considera un **tramo** de distancia, así como "Δt" remarca que se considera un **lapso** de tiempo; hay otras formas de usar la "d" o la "t", pero aquí son "tramos" y "lapsos", unidos por el movimiento del objeto. El

término genérico para las nociones de "tramo de distancia", "lapso de tiempo", "cantidad en que aumenta una velocidad"…. es **incremento**.

Para calcular las aceleraciones también usaremos la expresión ΔV para indicar que hablamos de UN CAMBIO de velocidad, un incremento de valores de la velocidad o, simplemente, "incremento de V". Matemáticamente, un incremento se define como la resta de un valor **final** de la magnitud **menos** el valor **inicial;** para la velocidad tenemos: $\Delta V = V_f - V_i$ que representan: V_i la velocidad que el móvil tiene **antes** de empezar el cambio, V_f la velocidad con que se mueve **al terminar** el cambio que nos interesa y, al restarle a lo que tiene al final del cambio lo que tenía al comenzar, tenemos cuánto cambió, es decir el **incremento** que representamos con "ΔV". Los incrementos se usan con frecuencia, salimos de la casa con cierta cantidad de dinero (inicial) y, casi siempre, regresamos con menos, aquí la resta nos indica que se redujo nuestro capital y decimos que el incremento es *negativo*. Iniciamos las fiestas navideñas con cierto peso (inicial) y terminamos con otro mayor, al restarle el peso inicial (menor) al final (mayor), es *incremento* resulta positivo. Así vivimos cambios de estatura, de miembros de la familia, de juguetes o mensajes guardados, de número de blusas o camisas…El incremento de cualquier magnitud es **cero** si sus valores inicial y final son iguales.

Volvamos a la aceleración. En la vida diaria se usan, a veces, la velocidad y la aceleración de modo parecido, pero para describir bien los movimientos mecánicos hemos de distinguirlas con claridad. Si las velocidades inicial y final en cierto intervalo del movimiento son **iguales,** su resta es cero y la aceleración debe serlo ($\Delta V/\Delta t$) porque cero entre cualquier lapso de tiempo que sea da cero como cociente; cuando un movimiento tiene la propiedad de que, en cualquier intervalo que tomemos en cuenta, al calcular el incremento de V **siempre** obtenemos cero, es un *movimiento uniforme* o *movimiento con velocidad constante* y, claro, su aceleración es CERO m/s^2. La aceleración puede variar también, pero este caso no se estudia en el bachillerato. Sólo tomaremos en cuenta los movimientos en los que la aceleración es constante: en ellos la velocidad cambia "al mismo ritmo", de manera directamente proporcional al tiempo que dure el movimiento: mientras mayor sea el lapso de duración del movimiento, el móvil irá, cada vez, con mayor velocidad. Si la aceleración es constante y, claro, diferente de cero, la velocidad **aumentará contantemente** de modo interminable. Es obvio que en la naturaleza o la realidad práctica no pueden existir los movimientos que tengan aceleración positiva durante un tiempo infinito y que, como dijo Aristóteles (en una de las pocas cosas correctas que afirmó sobre el movimiento de los cuerpos): "*son imposibles los movimientos con velocidad infinita porque entonces el mismo objeto estaría en todas partes en el mismo momento*".

Una **idea básica** es que la 2ª Nw NO trata de movimientos con velocidad **constante** (a estos movimientos se refiere la Primera Ley de Newton: sin FUERZAS la velocidad es constante, es imposible que cambie). Las fuerzas modifican las velocidades y, sin fuerzas, predomina la INERCIA: "nada cambia solo, ningún objeto puede modificar *por sí mismo* la forma en que se mueve: no "puede" aumentar su velocidad, no puede frenar y ni siquiera puede cambiar la DIRECCIÓN de su movimiento".

Es muy importante que te acostumbres a calcular aceleraciones, remarcando, **siempre**, tres cosas:

a) que donde haya una aceleración *diferente de cero* la velocidad cambia: aumenta o disminuye;

b) que la aceleración NO SOLAMENTE indica un cambio de velocidad sino la **RAPIDEZ** con la que cambia la velocidad y

c) que cuando cambia la velocidad FORZOSAMENTE está actuando una **FUERZA**.

La expresión $a = \Delta V/\Delta t = (V_f - V_i) \div (t_f - t_i)$, (donde ΔV es la cantidad de velocidad en que cambió el movimiento durante el lapso de tiempo Δt) causa desconcierto con frecuencia, sobre todo al aplicarla; si fuera posible garantizar que **todos** los movimientos partieran del **reposo** la ecuación $\Delta V = V_f - V_i$ sería más sencilla: $\Delta V = V$ porque la velocidad con que se moviera el objeto, en un instante dado, siempre sería la velocidad final, V_f, puesto que la velocidad **inicial** V_i sería CERO m/s al iniciar a moverse desde el reposo. Pero en física, como en cualquier ciencia, es necesario usar ciertas *formas de hablar* porque cuando ya se conocen puede llegarse más lejos en la comprensión y aplicación de esa ciencia (son *tecnicismos*). En este caso lo que se gana es *generalidad*: con esta forma de expresar $\Delta X = X_f - X_i$ la cantidad en que cambia cualquier variable (digamos X), como la resta (o diferencia) del valor que en cierto instante tenga la variable X **menos** el valor que tenía al **empezar** a estudiar el cambio, se toman en cuenta todas las situaciones, con inicio en el reposo o en cualquier punto del movimiento del cuerpo. Un ejemplo es el movimiento de la Tierra, al que no le encontraríamos *inicio,* sino que debemos limitarnos a estudiar cambios en su movimiento a partir de alguna convención **nuestra**, no de ella: ¿cuánto cambia su velocidad durante, por ejemplo, una hora o un minuto?: ¿en qué instante (t_i) empezamos a contar ese lapso de tiempo? Por consiguiente, en ese instante se mueve con V_i y durante el lapso Δt subirá (o bajará si la aceleración es negativa) hasta el valor V_f.

Una última recomendación: al iniciar tu entrenamiento en el cálculo de aceleraciones acostúmbrate a escribir la unidades así: (X m/s – Y m/s) ÷ (Δt s) para reafirmar tu hábito de leer que a = 9.81 m/s^2 quiere decir que un objeto que caiga libremente (o con cualquier otro valor de *a)* ganará (o perderá) 9.81 m/s durante **cada lapso** de 1 s que

dure su cambio de velocidad, es decir, en la parte de su movimiento afectada por cierta fuerza causante de esa aceleración.

Quinta parte

Al llegar a esta parte, ya superaste lo más difícil de la segunda ley de la mecánica. Hagamos un resumen: la **aceleración** (**rapidez** con la que cambia la velocidad de cierto cuerpo en movimiento) es *directamente proporcional* a la intensidad de la **fuerza** que produce el cambio. Dicha fuerza es, como sabemos, resultado de una INTERACCIÓN entre el móvil y *algo* más (este *algo* puede ser otro objeto, pero también un *campo*, como el *campo gravitacional* creado por la Tierra y en que vivimos nuestra vida completa); la fuerza no depende sólo del objeto que se mueve, sino que es, en cierto grado, **externa** al móvil. Es válido preguntarse: ¿y el objeto no "*opina*" en la determinación de qué tan grande es la aceleración que esa fuerza le produce? Claro que su "*opinión*" cuenta. Interviene con su **masa**.

Un hecho muy importante es que la relación entre la aceleración y la masa es recíproca: si **m** es más grande se reduce la aceleración que produce una fuerza de la misma intensidad en ambos casos. La fuerza es causante o promotora de la aceleración, mientras que la masa es una resistencia a la aceleración, es decir, la masa es "*conservadora*" y la asociamos con la resistencia al cambio de velocidad, por estas dos razones en la ecuación de la aceleración tienen dos lugares opuestos la *a* y la **m**:

$$a = f / \mathbf{m}$$

La fuerza es proporcional a la aceleración: fuerza **más intensa** significa **mayor** aceleración, mientras que una masa **más grande** significa **menor** aceleración. Es importante habituarse a relacionar las expresiones matemáticas con el papel de las magnitudes físicas en los fenómenos naturales; en este caso la proporcionalidad directa entre la *a* y la f explica la posición de la f en el **numerador** mientras que la proporcionalidad inversa entre *a* y **m** justifica que ésta quede en el **denominador**.

Un error frecuente, al buscar la función física de la masa, es imaginar que puede *contrarrestar* o hacer menor a la fuerza y ello es un grave error: para "*neutralizar*" a la fuerza debería ser una magnitud del mismo carácter: solamente una fuerza equilibra o neutraliza, aunque sea parcialmente, a otra fuerza. Lo que la masa hace es *modificar* la magnitud de la aceleración producida por la fuerza. Quizá el error de pensar que se necesita una "fuerza mínima" para que la velocidad de un objeto **cambie** proviene de la experiencia de que para *mover* cosas pesadas no bastan fuerzas pequeñas, pero esto es una confusión porque en tal caso lo que debe vencerse es la fuerza de fricción entre la cosa que movemos y la superficie sobre la

que descansa; la 2ª Nw describe un cambio de velocidad considerando que el móvil sólo tiene **una fuerza neta**, es decir, que primero se equilibran o se "desactivan" **todas** las fuerzas y luego se le aplica, al objeto "en el aire" una fuerza en un solo punto: desde el instante mismo en que la fuerza actúa se produce una aceleración evaluada por esta importante ley.

Con la masa tenemos casi todos los componentes de la segunda ley de Newton.

Sexta parte

Hasta el momento he dicho varias cosas poco precisas La de mayor importancia es que he llamado "velocidad" a lo que se llama, técnicamente, RAPIDEZ. Lo he hecho porque creo negativo para el aprendizaje acumular muchas novedades y en el lenguaje coloquial llamamos así a la rapidez. ¿Diferencia? La velocidad es igual a la rapidez más la dirección en que avanza el móvil; si decimos que la Tierra nos transporta por el espacio vacío a unos 30 km/s y no se necesita tomar en cuenta hacia donde avanza, nos basta este dato y llamémosle como queramos, pero un nivel de conocimiento más profundo requiere mayor rigor y, si es el caso, no basta con la rapidez e introducimos la diferencia entre rapidez y velocidad (indicando ahora la dirección de avance).

Hay una poderosa razón para tratar, en esta Quinta Parte, con la velocidad: la fuerza, como la velocidad, también tiene dirección y necesitamos saber cómo hacer cálculos cuando ocurra que **no coinciden** las direcciones de V y f. Los conceptos físicos que necesitan mayor información que la *magnitud* son muchos y, para ellos se han inventado los números llamados **vectores**, así como se crearon funciones vectoriales y un cálculo vectorial, especializado en ellos.

La 2ª Nw trata en su forma completa con VECTORES: la fuerza y la aceleración se usan como conceptos vectoriales, con su magnitud y, además, con la orientación que les corresponde: en qué dirección "*empuja*" la fuerza cuál se produce el cambio de velocidad. Para el mero enunciado de la ley esto no es un cambio dramático: asegura que la dirección de *a* es **la misma** que la de f; parece poca cosa. No lo es si recordamos que la dirección de V puede ser diferente a la de f.

Cuando la f actúa en dirección distinta a la que tiene la V (tratada como vector, recordemos) se describen los *movimientos curvilíneos*, los que más se acercan a lo que diariamente observamos. Con el nuevo tratamiento vectorial se presenta un poderío muy superior de la rama de la física que llamamos Mecánica Clásica, llevada a su formulación definitiva por Newton, pero en cuya creación participaron numerosos pensadores de varios países.

La técnica para trabajar con vectores tiene otro nivel de complejidad con respecto al aplicado en bachillerato, por lo cual es preferible dejarla para otro nivel de estudios. No agregaremos más en este trabajo acerca de la segunda ley de Newton.

Séptima parte

En esta última parte estudiaremos un aspecto de cierta sutileza: los *valores instantáneos* de las magnitudes que sirven para representar los movimientos mecánicos.

Iniciemos con la **caída libre**, es decir con un movimiento acelerado (la aceleración es causada por la fuerza con que nos "*atrae*" la masa de todo nuestro planeta; la dirección de la fuerza gravitacional es lo que llamamos **"abajo"** y al movimiento *hacia abajo* lo llamamos caída. Si estudiamos caídas de corta distancia podemos considerar que el aire con el que rozan los objetos al caer NO afecta su movimiento (un móvil con elevada rapidez sí recibe efectos que no se pueden dejar de tomar en cuenta: no se pueden *ignorar*, se acostumbra decir). Una *caída* en la NADA interviene (aparte de la gravedad, claro) se llama *caída libre*.

Es muy fácil convencerse del movimiento de caída libre es **acelerado** (cambia el valor de su rapidez) cuando dejamos caer algo desde el reposo: la rapidez **inicial** V_i vale cero m/s (está inmóvil), pero al instante mismo en que *lo soltamos* empieza a moverse (su rapidez vale más que cero m/s). Es un fenómeno con una cualidad que lo simplifica mucho: la fuerza de gravedad NO tiene cambios que podamos medir si la caída es en distancias de pocos metros, o sea: es un movimiento con su rapidez constante, como, además, la fuerza de gravedad sólo actúa verticalmente, coinciden las dos direcciones, de V y f. La 2ª Nw nos indica que la aceleración ocurre en la misma dirección que la fuerza, así que todas coinciden *hacia abajo*, es un movimiento acelerado y, también, rectilíneo.

En todos los movimientos con aceleración constante, la rapidez cambia (aumentando o disminuyendo) en **proporción directa** al tiempo. Este es el caso de caída libre. Para dar el siguiente paso supondremos que la altura de caída es la necesaria para que el objeto llegue al suelo con una rapidez de 1 m/s (es una altura un poco más grande que 1 metro); se trata de un cambio de rapidez desde 0 hasta 1 m/s. ¿Cuántos valores puede tener esta rapidez mientras va cayendo? Sabemos que en la *recta numérica* hay un número **infinito** de puntos, porque a cada punto le podemos asociar un *número real* y en el intervalo { 0 , 1} hay una cantidad **infinita** de números reales porque entre el 0.00057 y la siguiente cienmilésima: 0.0058 podemos siempre intercalar cualquier número de millonésimas o milmillonésimas, cada vez más cercanas una de la otra: hay un número INFINITO de fracciones cada vez menores entre cualquier par de valores numéricos.

Así como en su caída el objeto **pasa** por todas las velocidades, desde 0 m/s hasta 1 m/s, también **pasa** por todos los valores de altura desde el 1.25 m de su altura inicial hasta tocar el suelo, que tomamos como punto **cero** para medir alturas (se le llama *el origen*). A estos valores se les llama *instantáneos*: rapideces instantáneas, alturas instantáneas y, claro, también hay un número infinito de *instantes*: todos los valores del tiempo que pasa desde que empezó a caer (t_i) hasta el instante final: dejan de funcionar las ecuaciones de la caída libre.

Ahora quizá queden más claras las expresiones como $\Delta V = V_f - V_i$ con la que nos referimos a la cantidad en que cambió la rapidez desde el instante inicial t_i hasta el final t_f , a esta cantidad se le llama *incremento* y puede ser positivo (aumenta la rapidez por aceleración positiva) o bien negativo (disminuye, es decir, hay *frenado* como lo llamamos de ordinario). Así puede haber incrementos de todas las magnitudes variables y, claro, la magnitud que se mantenga constante en cierto fenómeno tiene incrementos nulos.

En el bachillerato las funciones se usan en forma elemental y no necesitarás dominar conceptos asociados con los valores *instantáneos o puntuales,* pero sí te conviene conocer el aspecto básico de ellos.

Espero que con esta base conceptual de la segunda ley de Newton puedas usar libros de texto tradicionales para desarrollar tu habilidad para aplicarla.