

tivamente, d es la distancia entre sus centros, G la constante gravitatoria y F la fuerza de atracción de la gravedad entre estas dos masas.

CAPÍTULO I.

EL NACIMIENTO DE LA DINÁMICA.

1-1 LEYES DEL MOVIMIENTO.

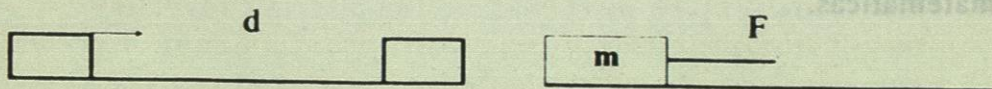
La cinématica es el estudio de cómo se mueven los objetos, pero no de por qué se mueven. Galileo investigó muchos aspectos de la cinématica con visión, originalidad y energía y la parte más valiosa de su obra fue la relacionada con tipos especiales de movimiento, tales como la caída libre. En forma clara y consistente nos mostró cómo describir el movimiento de los objetos con la ayuda de las ideas matemáticas.

Galileo había escrito que el presente no parece ser el tiempo apropiado para investigar la causa de la aceleración del movimiento natural... Cuando Isaac Newton comenzó a estudiar el movimiento en la segunda mitad del siglo XVII, esa afirmación ya no era apropiada. En realidad, debido a que Galileo logró describir el movimiento en forma tan efectiva, Newton pudo concentrar su atención en la **dinámica**, que es el estudio de **por qué se mueven los objetos en la forma en que lo hacen, por qué se empiezan a mover en lugar de permanecer en reposo, por qué aceleran o llevan una trayectoria curva, y por qué se detienen.**

¿Cuál es la diferencia entre la dinámica y la cinemática?. La cinemática estudia la descripción del movimiento. Por ejemplo, podríamos describir el movimiento de una piedra que cae desde un precipicio y para hacerlo, podríamos escribir una ecuación que mostrara la relación que existe entre la distancia d que recorre la piedra al caer y el tiempo t de la caída. Podemos encontrar la aceleración y la rapidez final alcanzada durante cualquier intervalo de tiempo que escojamos, pero cuando terminamos de describir el movimiento de la piedra, seguimos insatisfechos. Podríamos preguntarnos por qué la piedra acelera en lugar de caer con una rapidez constante, y por qué acelera siempre uniformemente cuando no interviene la fricción del aire. Para contestar a estas preguntas, debemos de entender los conceptos de **fuerza** y **masa**, y al hacerlo estamos estudiando **dinámica**, la cual va más allá de la cinemática al tomar en cuenta la **causa** del movimiento.

Cinemática: Descripción del movimiento {Velocidad, distancia recorrida, tiempo transcurrido y aceleración}.

Dinámica: Causas del movimiento. {Masa, fuerza}.



Al estudiar la cinemática se observa que un objeto puede:

- (a) Permanecer en reposo;
- (b) moverse uniformemente en línea recta;
- (c) acelerar durante el movimiento rectilíneo;
- (d) disminuir la rapidez durante el movimiento rectilíneo.

Debido a que las últimas dos situaciones son ejemplos de aceleración, realmente podríamos reducir la lista a:

- (a) reposo,
- (b) movimiento uniforme y
- (c) movimiento acelerado.

Por lo tanto, son estos tres fenómenos los que trataremos de explicar. Pero la palabra "explicar" debe usarse con cuidado. Para el físico, un suceso se "explica" cuando puede demostrarse que es una consecuencia lógica de una ley, la cual es verdadera según el físico. En otras palabras, un físico que tenga fe en una ley general, "explicará" el suceso demostrando que es consistente (que va de acuerdo) con la ley. Hay un número infinito de sucesos separados y de distintos aspectos que ocurren frecuentemente a nuestro alrededor y en nuestro interior. En cierto sentido, el trabajo del físico consiste en mostrar en qué forma estos sucesos resultan necesariamente de ciertas reglas generales que describen la forma en que funciona el mundo. Este enfoque a la "explicación" se hace posible gracias al hecho de que las leyes generales de la física son sorprendentemente pocas. En este capítulo hablaremos de tres de estas leyes. Estas leyes nos permiten comprender prácticamente todos los movimientos que se pueden observar fácilmente. Añadiendo una ley más, la de la **Gravitación Universal**. Podremos explicar los movimientos de las estrellas, los planetas, los cometas y los satélites y de hecho, por medio de la física nos podemos dar cuenta una y otra vez de que la naturaleza tiene una simplicidad maravillosa.

Para explicar el reposo, el movimiento uniforme y la aceleración de cualquier objeto, necesitamos poder contestar a preguntas como las siguientes: ¿Por qué no se mueve un florero si lo dejamos sobre una mesa? Si se le da un ligero empujón a un disco de hielo seco que descansa sobre una superficie lisa y plana, ¿por qué se mueve con una rapidez uniforme y en línea recta? ¿por qué ni disminuye su rapidez ni se va hacia la derecha ni a la izquierda?. Podemos contestar a éstas y otras preguntas específicas sobre el movimiento, ya sea directa o indirectamente, por medio de las tres "leyes del movimiento" generales de Isaac Newton.



1-2 EXPLICACIÓN ARISTOTÉLICA DEL MOVIMIENTO.

El concepto de la fuerza jugó un papel muy importante en la dinámica aristotélica, veinte siglos antes de Newton. En la física aristotélica había dos tipos de movimiento, el **natural** y el **violento**. Por ejemplo, se creía que una piedra que caía tenía un movimiento **natural** (hacia su lugar natural) y por otro lado, se creía que una piedra que se levantaba gradualmente tenía un movimiento **violento** (fuera de su lugar natural). Para mantener uniforme este movimiento violento, se tenía que aplicar una fuerza continuamente. Cualquiera que trate de mover una roca grande se dará cuenta de esta fuerza.

Las ideas de Aristóteles iban de acuerdo a muchas observaciones de sentido común, pero había también dificultades. Tomemos un ejemplo específico, una flecha que se dispara en el aire. Esta no puede entrar en movimiento violento sin algo que la impulse o la empuje. La física aristotélica exigía que tal cosa ocurriera, pero si se quitaba esta fuerza, la flecha debería detener inmediatamente su vuelo y caer directamente al piso con un movimiento **natural**.

Cualquiera No Es necesario aplicar una fuerza

Pero por supuesto, una flecha no cae al piso tan pronto como pierde contacto con el arco, ¿Cuál es entonces la fuerza que impulsa a la flecha? Aquí los discípulos de Aristóteles ofrecían una astuta sugerencia: El movimiento de la flecha a través del aire, era mantenido por el aire mismo. Al empezar a moverse la flecha, el aire que queda frente a ella se hace a un lado y naturalmente hay más aire que viene a llenar el espacio que dejó vacío la flecha. Ellos decían que era esta corriente de aire que quedaba detras de la flecha la que la sostenía volando.

En la primera mitad del Siglo XVII se desarrollaron ideas más adecuadas para explicar el movimiento desde nuestro punto de vista actual, pero en todos los casos se consideraba necesario que hubiera una fuerza para sostener el movimiento uniforme. La explicación de éste dependía de que se pudiera encontrar la fuerza que lo provocaba y eso no era siempre fácil. Había también otros problemas, por ejemplo, una bellota o una piedra no tienen una rapidez uniforme al caer sino que aceleran. ¿Cómo se explica esto? Algunos discípulos de Aristóteles pensaban que la aceleración de un objeto que cae tiene que ver con su aproximación a su lugar natural, la tierra. En otras palabras, se creía que los objetos que caen son como un caballo cansado que empieza a galopar al acercarse a su establo. Otros decían que cuando un objeto cae, el peso del aire que queda arriba de él aumenta y lo empuja, mientras que la columna de aire que se encuentra bajo él, disminuye y ofrece menos resistencia a su caída.

Cuando un objeto llega finalmente al suelo, que es el lugar más cercano al centro de la tierra que puede alcanzar, se detiene, y ahí en su **lugar natural** permanece. El reposo no requería de ninguna explicación mayor, puesto que se consideraba como el estado natural de las cosas de la tierra y por lo tanto, los tres fenómenos de reposo, movimiento uniforme y acelerado, podrían ser explicados en una forma más o menos razonable por un discípulo de Aristóteles. Ahora vamos a examinar la explicación que de estos mismos fenómenos nos dió Newton. La clave para este enfoque consiste en tener una idea clara de lo que significa el concepto de **fuerza**.

Nuestro sentido común nos da una idea acerca de la fuerza, que está muy íntimamente ligada a nuestra propia actividad muscular. Sabemos que se requiere un esfuerzo constante para levantar y sostener una roca pesada o cuando empujamos una segadora de pasto, o remamos en un bote, o partimos un tronco de árbol o amasamos pan, nuestros músculos nos indican que estamos aplicando una fuerza a un objeto. La fuerza y el movimiento están asociados naturalmente en nuestras mentes con la actividad muscular. Cuando pensamos en cambiar la forma de un objeto, moverlo de lugar, o cambiar su movimiento, pensamos automáticamente en la sensación muscular de aplicar fuerza a ese objeto. Pronto veremos que muchas, de nuestras ideas comunes sobre la fuerza, aunque no todas, nos serán útiles en física.

Sabemos además, sin tener que pensar en ello, que las fuerzas pueden hacer que los objetos se muevan, sin embargo, también pueden hacer que se queden quietos.

1-3 PRIMERA LEY DEL MOVIMIENTO DE NEWTON.

A partir de nuestra experiencia de todos los días, pensamos automáticamente que siempre se necesita una fuerza para mantener un objeto en movimiento. De hecho, si no existiera la fuerza de fricción, nos bastaría un ligero empujón para mandar mesas y sillas deslizándose sobre el piso como si fueran discos de hielo seco (dioxido de carbono en estado sólido) que al deslizarse sobre una superficie plana y lisa, se mueve casi sin perder su velocidad. La primera ley de Newton lanza un reto directo a la idea aristotélica de lo que es

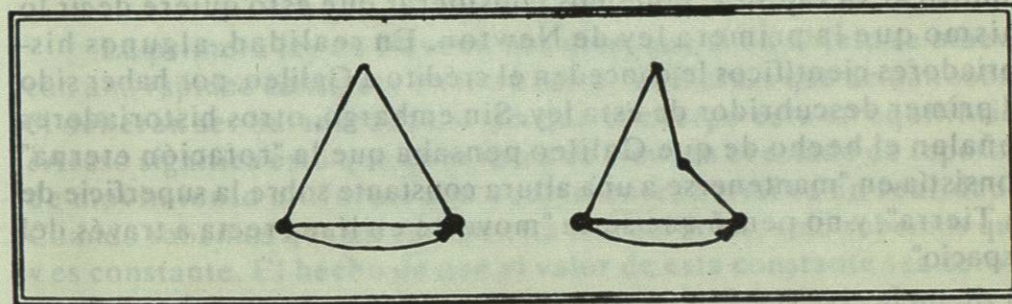


natural. Declara que el estado de reposo y el estado de movimiento uniforme y el estado de aceleración en línea recta son igualmente naturales. Si no fuera por la existencia de alguna fuerza, como por ejemplo, la fricción, -los objetos se moverían eternamente! Podemos expresar la primera ley del movimiento de Newton en lenguaje moderno como sigue:

Todos los objetos permanecen en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que actúe sobre ellos una fuerza no balanceada. Asimismo, si un objeto se encuentra en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, la fuerza no balanceada que actúa sobre él, deberá ser igual a cero.

Para poder entender el movimiento de un objeto, debemos tomar en cuenta, todas las fuerzas que actúan sobre él. Si todas las fuerzas, (incluyendo la fricción) están balanceadas, el objeto se moverá con una v constante.

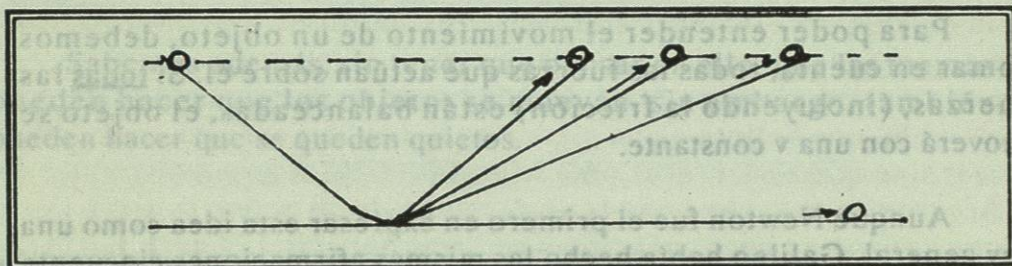
Aunque Newton fue el primero en expresar esta idea como una ley general, Galileo había hecho las mismas afirmaciones cincuenta años antes. Por supuesto, ninguno de los dos poseían discos de hielo seco, ni instrumentos similares. Por lo tanto, no podían observar el movimiento en el cual se hubiera reducido la fricción, en forma tan considerable. Por el contrario, Galileo inventó un experimento en el que imaginó que la fricción fuera cero.



Este experimento pensado se basaba en una observación real. Si se toma el extremo de un péndulo que se encuentra en reposo, se jala y luego se suelta, el péndulo formará un arco y luego se levantará a

una altura similar a la que tuvo cuando se soltó. En realidad, Galileo mostró que esto ocurrirá aun cuando ponga una clavija que cambie el trayecto, como lo muestra la figura anterior.

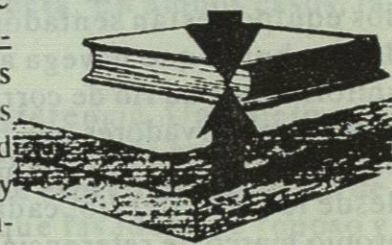
A partir de esta observación, Galileo siguió con su experimento pensado, y predijo que si soltaba una pelota desde una cierta altura, sobre una rampa que no tuviera fricción, la pelota rodaría hasta alcanzar una altura similar en una rampa igual, colocada frente a la otra. Consideremos el siguiente diagrama: en donde vemos que si cambiamos la rampa de la derecha a la posición (a), a la (b) y luego a la (c), la pelota tendrá que recorrer una distancia mayor en cada caso para alcanzar la altura original.



Vemos que frena más lentamente al disminuir el ángulo de inclinación, pero si la segunda rampa estuviera exactamente al nivel del piso, como se muestra en (d), la pelota **nunca** podría llegar a la altura original. Por lo tanto, Galileo creía que una pelota sobre esta superficie sin fricción, rodaría eternamente en línea recta y sin modificar su rapidez. Podemos considerar que esto quiere decir lo mismo que la primera ley de Newton. En realidad, algunos historiadores científicos le conceden el crédito a Galileo, por haber sido el primer descubridor de esta ley. Sin embargo, otros historiadores señalan el hecho de que Galileo pensaba que la "rotación eterna" consistía en "mantenerse a una altura constante sobre la superficie de la Tierra", y no pensó que sería "moverse en línea recta a través del espacio".

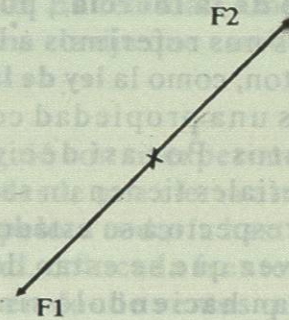
Esta tendencia de los objetos a mantenerse en su estado de reposo o de movimiento uniforme, es llamada algunas veces el "prin-

cipio de la inercia", por lo que algunas veces nos referimos a la primera ley de Newton, como la ley de la inercia. La **inercia** es una propiedad común a todos los objetos. Por así decirlo, los cuerpos materiales tienen un rasgo de terquedad con respecto a su estado de movimiento y una vez que se están desplazando, continúan haciéndolo sin modificar ni su rapidez ni su dirección, a menos que actúe sobre ellos alguna fuerza externa no balanceada, pero si están en reposo, permanecen así. Esta tendencia es lo que hace tan necesarios los cinturones de seguridad cuando un coche se detiene de pronto, y también explica por qué es probable que en un camino con hielo, el coche no de vuelta en una curva, sino que se siga de frente y tal vez entre a un terreno o choque contra una barda. Mientras mayor es la inercia de un objeto, mayor será la fuerza que se necesita para producir un cambio de éste último. Por ejemplo, es más difícil arrancar un tren y un barco y hacer que alcancen su rapidez máxima, que mantenerlos en ella una vez que ya la alcanzaron. (En ausencia de la fricción, seguirían moviéndose sin tener que aplicar una fuerza). Pero por esa misma razón, es difícil detenerlos, y tanto los pasajeros como la carga siguen hacia adelante si se frena de repente el vehículo.



La primera ley de Newton nos dice, que si un objeto se mueve con una rapidez constante en línea recta, las fuerzas que actúan sobre él deberán ser balanceadas, o sea que el cuerpo está en equilibrio. ¿Acaso significa esto que en la física de Newton el estado de reposo y de movimiento uniforme son equivalentes? ¡Así es en realidad!. Cuando sabemos que un cuerpo está en equilibrio, solo sabemos que v es constante. El hecho de que el valor de esta constante sea cero o no, depende en todo caso de nuestro marco de referencia al medir la magnitud de v y podemos decir que está en reposo o moviéndose a una v constante mayor a cero, solo con respecto a otro cuerpo.

Tomemos, por ejemplo, el caso de una competencia de jalar una cuerda. Los dos equipos están sentados en la cubierta de una barca que navega a una velocidad uniforme por un río de corriente tranquila. Hay dos observadores que reportan el incidente, uno desde la misma barca y otro desde la orilla del río; cada uno, desde su propio marco de referencia. El observador de la barca dirá que las fuerzas de la cuerda están balanceadas y que permanece en reposo. El que está en la orilla reportará que las fuerzas están balanceadas y que la cuerda se encuentra en movimiento uniforme. ¿Cuál de los dos tiene la razón?. Ambos: la primera ley del movimiento de Newton se aplica a las dos observaciones, pues el hecho de que un cuerpo esté en reposo o en movimiento uniforme depende del marco de referencia que usemos para observar el hecho. En ambos casos, las fuerzas que actúan sobre el objeto en cuestión estarán balanceadas.



1-4 EL SIGNIFICADO DE LA PRIMERA LEY.

Las leyes de Newton tienen que ver con muchos conceptos filosóficos profundos. Pero estas leyes no son tan fáciles de usar; y podemos ver la importancia de la primera sin entrar en ninguna de las ideas complejas. Para mayor comodidad, vamos a hacer una lista de los puntos de vista importantes que nos proporciona la primera ley.

- Presenta la idea de la inercia como una propiedad básica de todos los objetos materiales. La inercia es la tendencia de cualquier objeto a mantener su estado de reposo o de movimiento uniforme.

- Señala la equivalencia entre estado de reposo y el estado de movimiento uniforme en línea recta. En ambos casos, la fuerza neta es igual a cero.
- Crea el concepto del marco de referencia. Un objeto que esté quieto según un observador, puede estar en movimiento según otro. Por lo tanto, se debe de especificar el marco de referencia, si es que queremos que las ideas de reposo y movimiento uniforme tengan algún sentido.
- Se le considera como una ley universal. Hace énfasis en el hecho de que un sólo esquema puede estudiar el movimiento en cualquier lugar del universo. Por primera vez, se hace una distinción entre los sucesos de la Tierra y de otros lugares del Universo. La misma ley se aplica a los objetos terrestres, así como a la Luna, los planetas y las estrellas, y también a las pelotas, los discos de hielo seco, los imanes, los núcleos de los átomos, los electrones, y ¡todo!
- La primera ley describe el comportamiento de los objetos cuando no hay fuerzas no balanceadas que actúen sobre ellos. Por lo tanto, prepara el terreno para la pregunta siguiente: ¿Qué es exactamente lo que sucede cuando una fuerza no balanceada llega a actuar sobre un objeto?

1-5 LA SEGUNDA LEY DEL MOVIMIENTO DE NEWTON.

Hasta ahora hemos encontrado dos de nuestros tres objetivos: la explicación del reposo y del movimiento uniforme. En términos de la primera ley, ambos son equivalentes. Es decir, simplemente son modos diferentes de describir el estado de equilibrio, en el cual no hay ninguna fuerza no balanceada que actúe sobre el objeto en cuestión.