



# Las leyes de Newton y los contenidos filosóficos de su enseñanza

## Newton's laws and the philosophical contents of his teaching

**I José Carlos León Ortega**

*Licenciado en Física por la universidad de La Habana, PhD en Ciencias Físicas, Decano de la Escuela de Ingeniería en la Universidad para el Desarrollo y la Innovación (UDI). Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.*  
 jcleon@udi.edu.bo

*Recibido: 20/04/2023  
 Aprobado: 31/05/2023*

### RESUMEN

**E**n el presente trabajo se exponen las tres Leyes de Newton con un análisis minucioso de sus alcances, no sólo en el terreno de la Mecánica Clásica, sino también en la Filosofía. Se describe cada una de ellas y los diferentes puntos de vista erróneos, que comúnmente se manejan durante el proceso de enseñanza aprendizaje de las mismas, tanto por los estudiantes de ingeniería como también por algunos profesores.

#### Palabras clave:

*Newton, dinámica, aceleración, fuerza, inercia, acción, reacción.*

### ABSTRACT

**I**n this paper, the three Newton's Laws are presented with a meticulous analysis of their scope, not only in the field of Classical Mechanics, but also in Philosophy. It describes each of the laws and the different wrong points of view commonly presumed during the teaching and learning process, not only from engineering students but some of their professors too.

#### Keywords:

*Dynamics, Newton, acceleration, force, inertia, action, reaction.*

### INTRODUCCIÓN

**L**as tres Leyes de Newton, aunque yo prefiero llamarlas las tres Grandes Leyes de la Dinámica, están presentes en todo plan de estudio de cualquier ingeniería, carrera de ciencias exactas e incluso, a nivel de enseñanza media.

Con inmenso dolor he tenido que estar presente en alguna simulación de clases o visita a alguna conferencia, donde al docente solo le ha tomado unos 30 minutos enunciarlas, e incluso, hacer ejercicios con ellas en dicho tiempo. Tengo que confesar, que siempre que me ha tocado a mí esta tarea he consumido no menos de tres horas en

cada una, sin dejar tiempo a la ejercitación.

Y es que estas tres grandes leyes, tienen tanto contenido físico, interpretativo e incluso filosófico que no podrían ser abordadas de otra manera.

A mi modo de ver las cosas, las tres leyes de Newton constituyen el aporte más grande realizado en la Física en todos los tiempos, porque, además, fueron enunciadas en un momento en que no existía el basamento matemático maduro para ello.

Por todo lo expuesto, les pido mucha atención, que vamos a hablar de las leyes de Newton.

## DESARROLLO

### Las tres grandes leyes

Son tres las leyes de la Dinámica y cada una de ellas, tiene tres nombres. Iremos viendo cada una con sus respectivas tres formas de denominarlas.

#### a. Primera Ley de la Dinámica. Ley de la Inercia. Primera Ley de Newton.

Quisiera abordar esta ley con una pregunta basada en el esquema de la Figura 1. Se muestra un cuerpo encima de una mesa al cual se le han aplicado cuatro fuerzas, pero dos a dos equilibradas. Quiere decir,  $\vec{F}_1$  es igual en magnitud que  $\vec{F}_2$  y lo mismo para  $\vec{F}_3$  y  $\vec{F}_4$ .

Es decir, todas las fuerzas aplicadas al cuerpo están

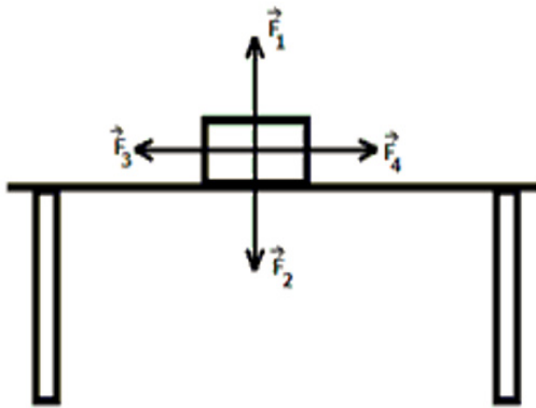


Figura 1: Cuerpo con fuerzas equilibradas.

equilibradas. Y la pregunta es: ¿el cuerpo se mueve?

La mayoría de las personas responden que no, debido a que todas las fuerzas están equilibradas. Esa respuesta no es cierta, porque no se puede asegurar tal cosa del solo hecho de que las fuerzas estén equilibradas.

Entonces vayamos a ver qué dice la Primera Ley de la Dinámica que Newton enunció (en latín) de la siguiente manera:

*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.*

Si se traduce al español, diría lo siguiente:

- Todo cuerpo permanecerá en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que sea obligado a cambiar su estado por fuerzas impresas sobre él.

Honestamente a mí me complace más enunciarla de la siguiente manera:

- En ausencia de fuerzas no equilibradas, todo cuerpo mantiene su estado de movimiento; el que estaba en reposo continuará en reposo y el que estaba en movimiento continuará en movimiento con trayectoria rectilínea y velocidad constante.

Lo primero que salta a la vista y a mi forma de ver, es lo más importante en la ley, es la palabra **Todo**: Todo cuerpo permanecerá en su estado ..."

Y en Física cuando se dice **Todo**, quiere decir **Todo**. O sea, es una ley de carácter universal.

Y este es el primer principio filosófico. Es una ley de leyes. No hay fenómeno que se escape de ella.

Muchas veces he escuchado a algún docente decir: "¡Aquí no se cumple la Primera Ley de Newton, la que se cumple es la Segunda!". Nada más errado. No habrá un fenómeno en la naturaleza donde no se cumpla esta ley.

El segundo aspecto a considerar en la unión indisoluble entre la Fuerza Resultante y el Estado de Movimiento del cuerpo.

Veámoslo en detalles: *En ausencia de fuerzas no equilibradas...* Esto quiere decir: "Si la Fuerza Resultante es nula" ... O sea, la Primera Ley de Newton habla de la Fuerza Resultante aplicada a un cuerpo. Por otra parte, establece la afectación de esta al estado de movimiento.

Es decir, "**Si la Fuerza Resultante es nula, el cuerpo no cambia su estado de movimiento**" (lo que estaba en reposo continúa en reposo y lo que estaba moviéndose continúa en movimiento).

Hay una unión indisoluble entre Fuerza Resultante y el cambio en el Estado de Movimiento. Son categorías íntimamente ligadas y una, resultado de la otra. Y se puede plantear una relación bidireccional entre ambas:

Fuerza Resultante  $\leftarrow \text{---} \rightarrow$  Cambio en el Estado del Movimiento.

Esto quiere decir que, si hay una Fuerza Resultante aplicada, producirá un cambio en el Estado de Movimiento del cuerpo. Y al revés, si hay un Cambio en el Estado de Movimiento del cuerpo, es porque hay una Fuerza Resultante aplicada.

Ya dicho todo esto, podemos pasar a analizar un poco más la situación de la Figura 1. La mejor respuesta que se puede dar a si el cuerpo se mueve o no, es: "¡Depende!". Parece una respuesta muy

ambigua, pero es realmente muy precisa y certera.

Ya que, según la Primera Ley, permanecerá en reposo si estaba en reposo, y se moverá si estaba moviéndose. O sea, "Depende" de lo que estaba haciendo anteriormente.

Por último, la ley establece un "cómo". "Si estaba moviéndose (y no importa de qué manera), continuará haciéndolo con velocidad constante y en línea recta".

Esto da al traste con el planteamiento erróneo de Aristóteles de que "todo cuerpo tiende al estado de reposo, porque éste es el estado natural de los cuerpos".

Con la Primera Ley de Newton queda bien establecido que un cuerpo podrá permanecer eternamente en movimiento en línea recta y con velocidad constante. De hecho, desde hace muchos años la ingeniería aeroespacial emplea esta propiedad para la navegación de las naves en la ingravidez.

Podremos tener un cuerpo que se mueva por la acción de una fuerza resultante, pero cesar esta en un determinado momento, y continuarse el movimiento a velocidad constante y en forma rectilínea con toda ausencia de fuerzas. Este fue el gran descubrimiento de Galileo llamado Inercia.

Porque la Inercia es la propiedad o tendencia que tienen los cuerpos de mantener su estado de movimiento. Por eso, a la Primera Ley de Newton, con mucha justeza también se le denomina Ley de la Inercia.

En resumen, para entender la Primera Ley, hay que estar bien claros en los tres conceptos o categorías filosóficas bien definidas: Fuerza Resultante, Estado de Movimiento e Inercia.

## b. Segunda Ley de la Dinámica. Ley de la Aceleración. Segunda Ley de Newton

Para comenzar a analizar esta ley, se me ocurre repetir la pregunta referente a la Figura 1, pero ahora referida a la Figura 2: ¿Y ahora se mueve el cuerpo?

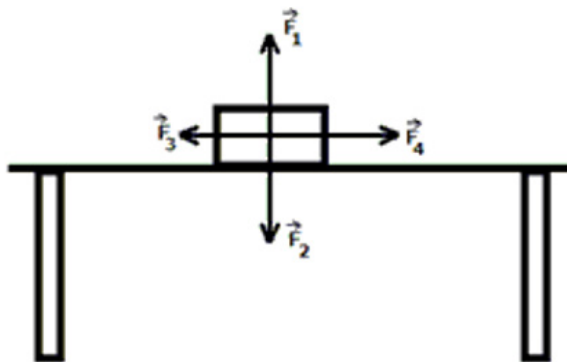


Figura 2: Cuerpo con fuerzas no equilibradas

Claro, como  $\vec{F}_4$  es mayor en módulo que  $\vec{F}_3$ , habrá una fuerza resultante en la horizontal y evidentemente, el cuerpo se moverá. Pero ahora surge otra pregunta: ¿En qué sentido será el movimiento, para la derecha o para la izquierda?

La respuesta inmediata del estudiante (y hasta la de muchos docentes) es que el movimiento es hacia la derecha, porque "en esa dirección está la Fuerza Resultante". Créanme, que al igual que en la Primera Ley, la mejor respuesta es: "¡Depende!".

Empecemos por analizar la Segunda Ley de Newton. Esta establece (en latín):

*Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.*

Que se traduce al español de siguiente manera:

- El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza.

La palabra dirección la he subrayado expreso. Más adelante hablaremos de ello.

A mí me complace más enunciarla de la siguiente manera:

- La aceleración que una fuerza resultante imprime a un cuerpo, es directamente proporcional a esta e inversamente proporcional a su masa. Este enunciado se puede plasmar en una ecuación, que llamaremos Ecuación 1:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m}$$

donde:

$\vec{F}_R$ : es la Fuerza Resultante aplicada.

$\vec{a}$  es la Aceleración del Cuerpo.

m: Masa del Cuerpo.

Me gusta enunciarla de esta manera porque en la expresión y texto de su enunciado están presente las tres categorías que se interrelacionan en ella: Fuerza Resultante, Aceleración y Masa.

Es la ley que permite tener una ecuación para el cálculo de la aceleración del cuerpo y por eso también se le denomina Ley de la Aceleración.

Analicemos el contenido de la Ley: "El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa...".

Para que haya un cambio de movimiento en cualquiera de sus variantes (de reposo a movimiento, de movimiento a reposo, de movimiento en una dirección y/o sentido a

movimiento en otra dirección y/o sentido, etc.), tiene que haber una aceleración. Este justamente es el primer detalle de mucha importancia en la Ley. O sea, el cambio en el Estado de Movimiento es justamente la Aceleración del Cuerpo.

Y continúa: "...es proporcional a la fuerza motriz impresa...". El concepto de Fuerza Impresa, tanto en esta ley como en la Primera, equivale a la Fuerza Resultante. Por lo tanto, dicho en otras palabras: "es proporcional a la Fuerza Resultante aplicada".

Y aunque en el enunciado original no está implícito el tema de la Masa, la he incluido en la definición por la importancia que reviste. La aceleración será menor, en la medida en que la Masa sea mayor, para una misma Fuerza Resultante aplicada.

Por eso, todo lo anteriormente expuesto se resume en la Ecuación 1. Pero de ella se puede obtener mucha más información.

Obsérvese que el término de la derecha, establece el cociente entre un vector ( $\vec{F}_R$ ) y un escalar (m). El resultado tendrá que ser un vector, en este caso, la Aceleración ( $\vec{a}$ ).

Ahora bien, ambos vectores, tendrán que tener la misma dirección y el mismo sentido. (Uno copia del otro ambas propiedades). Esto quiere decir, la Aceleración tendrá la misma dirección y el mismo sentido que la Fuerza Resultante. Por eso dice en el enunciado: "...y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza".

Cuando Newton decía: *fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur* (hecho en la línea recta que la fuerza ha actuado), en el término "línea recta" establecía la dirección, por eso se subrayó en la traducción.

Pero, y esto quiero que quede bien claro, ninguno de los dos, Fuerza Resultante y Aceleración, definen el sentido del movimiento. Lo que sí se puede afirmar es que la Fuerza Resultante tendrá la misma dirección y sentido que la Aceleración, pero no tienen por qué coincidir con el sentido del movimiento.

Y ya con esto, podemos dar respuesta a la pregunta relacionada con la Figura 2. Para que se comprenda mejor, sugiero que pensemos en el siguiente ejemplo:

Se ha impulsado un bloque de hielo, sobre una superficie también de hielo. Una vez en movimiento, el diagrama de fuerzas aplicadas será el mostrado en la Figura 3.

Asumamos que  $\vec{F}_1$  es la normal,  $\vec{F}_2$  es el peso y  $\vec{F}_3$  es la fuerza de fricción cinética entre el bloque y el hielo, que, aunque sea de muy pequeño valor, existe.

Obsérvese cómo el cuerpo se mueve en un sentido y la Fuerza Resultante en el eje "x" está en sentido contrario (sólo la constituye  $\vec{F}_3$ ).

De este ejemplo tan simple se puede deducir que

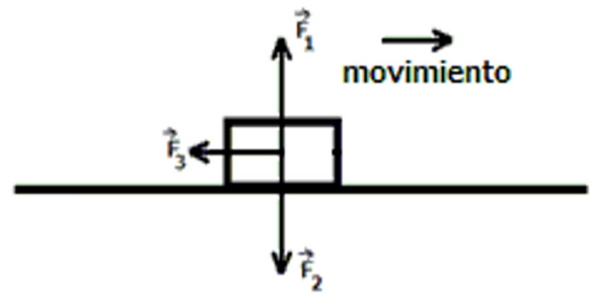


Figura 3: Bloque deslizándose sobre una superficie

del movimiento. Lo que sí se puede afirmar es que dicha Fuerza Resultante ( $\vec{F}_R$ ), siempre estará en la dirección y sentido que la Aceleración  $\vec{a}$ .

La gran mentira: *cuando la aceleración es negativa es porque el cuerpo está desacelerando*.

Es muy común escuchar este argumento y quiero ponerlo bien en claro. Cada sistema donde intervengan vectores, debe contener un sistema de referencias. Por ejemplo, si en la Figura 3 ubicamos un sistema de este tipo, pudiera ser el mostrado en la Figura 4.

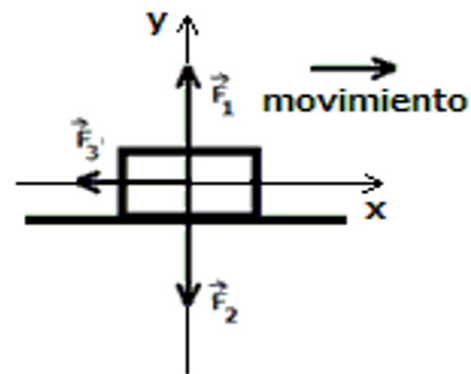


Figura 4: Ejemplo de la figura 3 con un sistema de referencia

Los ejes del sistema cartesiano "x" y "y", definen las direcciones y los sentidos positivos del sistema. Por ejemplo, la fuerza  $\vec{F}_1$  es positiva, mientras que la  $\vec{F}_2$  es negativa. Por otro lado, la fuerza  $\vec{F}_3$  es negativa. Se pudiera haber tomado otro sistema con las saetas de los ejes en sentidos contrarios, y los signos de las fuerzas ser diferentes.

En este caso y con el sistema de referencia de la Figura 4, como la Fuerza Resultante está en el sentido negativo del eje (pues está constituida sólo por  $\vec{F}_3$ , quien también es negativa), la Aceleración también lo será, en virtud de la Ecuación 1, como ya se ha explicado.

Entonces, una Aceleración negativa sólo podrá ser interpretada como un vector que está en el sentido negativo del sistema de referencia seleccionado, esté o no frenando el cuerpo.

## El Peso

Quiero dedicar un epígrafe aparte a este tema, pues también es objeto de tergiversaciones por algunos docentes y estudiantes.

Analicemos el caso de un cuerpo que cae en caída libre, en ausencia de aire, por lo que la fricción por este concepto no existe. Si la fricción del aire no existe, entonces el diagrama de fuerzas aplicada al cuerpo, es el mostrado en la Figura 5.

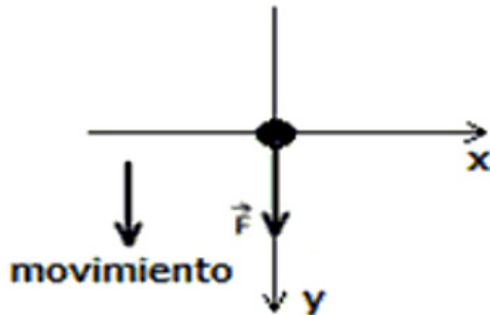


Figura 5: Cuerpo en caída libre en ausencia de aire.

Obsérvese que se ha tomado el sistema de referencia con la saeta del eje "y" hacia abajo. Y es conveniente tomarlo así, ya que todos los procesos (fuerza, aceleración y movimiento) ocurren en dicho sentido. Pudiera haberse tomado al revés, pero saldrían signos negativos en las magnitudes, resultando más incómodo los cálculos.

Si aplicamos la Segunda Ley de Newton (Ecuación 1), como la Fuerza Resultante es también  $\vec{F}$ , por ser la única en el eje "y" (no hay otra fuerza aplicada), entonces quedaría así:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (2),$$

pero en este caso, a  $\vec{F}$  se le llama  $\vec{P}$  (Peso) y a " $\vec{a}$ " se le llama " $\vec{g}$ "; que es la Aceleración de la gravedad, aceleración con que caen los cuerpos por la influencia del campo gravitatorio de la tierra.

Entonces la ecuación que llamaremos Ecuación 2 queda:

$$\vec{g} = \frac{\vec{p}}{m}$$

y si se despeja P, resulta la Ecuación 3:

$$\vec{p} = m \vec{g}$$

que es la ecuación que aparece en los libros para el cálculo del peso, conociendo la masa del cuerpo.

Ahora bien, veamos qué pasaría si se tiene en cuenta la fricción del aire. Véase en la Figura 6 el diagrama de fuerzas. Ahora, además del Peso, se

aplica al cuerpo, la fuerza de fricción, en sentido contrario.

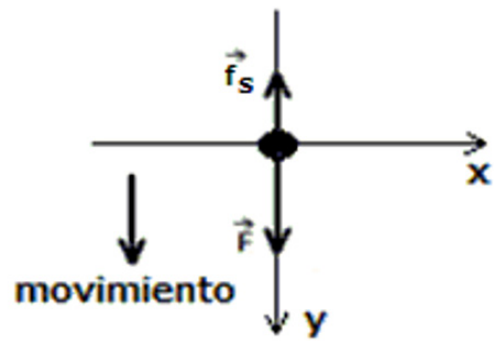


Figura 6: Cuerpo en caída libre en presencia de aire.

Como el Peso es mayor que la fuerza de fricción del aire, la Resultante es hacia abajo (sentido positivo del eje "y") y el cuerpo cae acelerado.

Si se aplica ahora la Segunda Ley de Newton tenemos la Ecuación 4:

$$\vec{a} = \frac{\vec{p} - \vec{f}_s}{m}$$

Por supuesto, ahora dicha Aceleración no será igual en valor a g, sino, menor.

Y si se despeja el peso P, queda la Ecuación 5:

$$\vec{p} = m \vec{a} + \vec{f}_s$$

Es decir, que ahora el Peso hay que tratarlo como la combinación de dos componentes y la Aceleración del cuerpo ya no es "g", sino, la cantidad que se obtenga de la Ecuación 5, o sea, este cuerpo no cae con la aceleración de la gravedad de 9,8 m/s<sup>2</sup>.

## c. Tercera Ley de la Dinámica. Ley de la Acción y Reacción. Tercera Ley de Newton

A mi forma de ver, esta es la ley más difícil de entender, pues es la que más elementos filosóficos engloba. Y paradójicamente, es la que más rápido es expuesta por estudiantes y algunos docentes.

Esta ley establece que:

*Actioni contrariam semper & æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales & in partes contrarias dirigi.*

Que la traducción pudiera ser esta:

- Para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual. Las acciones recíprocas de dos

cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias.

Prefiero enunciarla así para que estén bien aclarados todos los aspectos contenidos en ella:

- A toda fuerza (acción), le corresponde otra (reacción), en la misma dirección, en sentido contrario, de igual magnitud, aplicada en cuerpos diferentes.

Lo primero que salta a la vista en estas definiciones es la absolutidad de su enunciado: "A toda fuerza", o "Para toda acción". Quiere decir esto, que no hay una fuerza en la naturaleza que se escape del cumplimiento de la misma. En Física "todo" quiere decir "todo".

Este es, al igual que en la Primera Ley, el primer elemento filosófico, es una ley universal.

Lo segundo que se observa es que por cada Fuerza que exista habrá otra. Por lo tanto, el número de fuerzas en la naturaleza es un número par. Esta es una consecuencia de magnitudes incalculables. Y esto se debe a que la acción, al igual que la reacción, son categorías filosóficas y éstas están en la naturaleza por parejas.

El tercer elemento interesante es que se pueden intercambiar los roles, la Fuerza que es considerada Acción, también puede serlo en Reacción y viceversa.

Por último, y lo he remarcado subrayando la palabra en cada versión de enunciado, la ley habla de dos cuerpos. Es decir, que deberán estar involucrados dos cuerpos para el cumplimiento de la misma.

Las Fuerzas de Acción y Reacción, son antagónicas, pero a la vez se complementan. El origen de una depende de la existencia de la otra. Se me viene a la mente la Ley de Unión y Lucha de Contrarios de la Dialéctica. Y en realidad es así y tiene que ser así, porque de tal forma se comporta la naturaleza.

La mentira mayor: *El peso y la normal son parejas de acción y reacción.*

Tomemos el caso de la Figura 1 como ejemplo. Supongamos que el Cuerpo está en reposo y que Fuerza  $\vec{F}_1$  es la normal, y Fuerza  $\vec{F}_2$  de Peso. Esto conlleva a que ambas Fuerzas estén equilibradas, o sea, están en la misma dirección, sentidos contrarios y además son iguales en magnitud.

¡Cuántas veces no he visto a docentes poner ambas fuerzas como ejemplo de parejas de acción y reacción! Sin embargo, no lo son. Y la razón es bien sencilla y está bien explícito en la ley, y es justamente el concepto de los dos cuerpos.

Para que dos fuerzas sean parejas de acción y

reacción, tienen que estar aplicadas en cuerpos diferentes, por ello, no pueden constituir partes de una fuerza resultante de un cuerpo.

Ahora bien, si la normal en la Figura 1 no es la reacción del peso, ¿quién es, entonces?

Confieso que en muchas ocasiones no es fácil encontrar las reacciones a las fuerzas. Es una tarea que se apoya mucho en la experiencia del que analiza el fenómeno físico en cuestión.

En el caso que nos ocupa, la Reacción del peso hay que buscarla en otro Cuerpo y si el Peso es la fuerza con que la Tierra atrae a dicho cuerpo, (al menos en el modelo newtoniano), entonces la reacción habrá que buscarla en la Tierra. Esto es, la Tierra atrae a los Cuerpos con las mismas Fuerzas con que éstos la atraen a ella. (Figura 7)

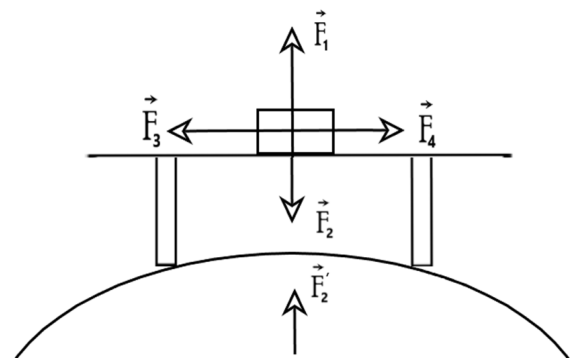


Figura 7: Reacción del peso en la tierra ( $\vec{F}_2'$ )

### Las leyes no se contradicen

Otro aspecto muy interesante de estas leyes es que ellas no se contradicen entre sí, es más, unas están contenidas en las otras. Veamos un ejemplo:

Tomemos el Cuerpo representado en la Figura 1. Es un bloque que suponemos en reposo (porque antes lo estaba). Como su resultante es nula, en virtud de la Segunda Ley (ver Ecuación 1), su Aceleración también lo será. Y si ésta es nula, quiere decir que está en reposo o con velocidad constante, que es precisamente lo que plantea la Primera Ley. O sea, que en la Segunda está incluida la Primera y viceversa.

El mismo razonamiento se puede hacer si se supone que el Cuerpo está en movimiento con velocidad constante (porque la Fuerza Resultante es nula).

Por el contrario, si nos enfocamos ahora en el Cuerpo de la Figura 2, la Fuerza Resultante no es nula, por lo que tiene una Aceleración (Segunda Ley) y por consecuencia, su estado de movimiento no podrá ser ni el reposo ni el movimiento a velocidad constante, por lo tanto, también se cumple la Primera Ley.

Dejo al lector la tarea de encontrar cómo se interrelaciona la Tercera con las otras dos.

## Si se cumple una, se cumplen todas, y todas se cumplen.

Por último, quiero referirme al cumplimiento colectivo de estas tres leyes. Ya dijimos que son leyes universales, por lo que sus cumplimientos son obligatorios en todo fenómeno de la naturaleza.

Eso quiere decir que no estarán ausente nunca, por lo que no se podrá decir que en tal o más cual fenómeno no se cumple una de las tres leyes.

Es más, si se cumple una (que sí o sí se tiene que cumplir), entonces se cumplen las otras dos.

En realidad, las tres leyes son una tríada indisoluble, en unión dialéctica entre sí, no se excluyen, más bien se complementan.

La Primera describe cómo es el estado del movimiento, la Segunda cuál es el "motor" o causa de dicho estado y la Tercera crea el espejo de dicha situación, estableciendo que existe otra fuerza igual, causando fenómeno similar.

Es el mejor regalo que nos hizo Isaac Newton, y para mí, como dije al principio, es el aporte más grande realizado en la Física en todos los tiempos. Por ello, que cada vez que vayan a hablar de estas leyes, no olviden expresar su respeto.

## CONCLUSIONES

- Resulta indispensable, para la enseñanza-aprendizaje de las Leyes de la Dinámica, el análisis de los aspectos filosóficos que ellas engloban.
- No se puede establecer un divorcio entre los aspectos filosóficos de estas leyes y sus contenidos físicos.
- Las tres leyes están concatenadas y se cumplen en todo fenómeno físico, al menos en Mecánica Clásica. **Si se cumple una, se cumplen todas, y todas se cumplen.**
- Las Leyes de Newton tienen limitaciones en campos relativistas, sistemas con masas no inerciales y campos electromagnéticos. Newton suponía que la acción de las fuerzas era instantánea, sin embargo, Einstein demostró que la acción de todo campo se produce a la velocidad de la luz "c", por lo tanto, es finita.
- Un caso muy interesante es el no cumplimiento de la Tercera en campos magnéticos con la componente magnética de la Fuerza de Lorentz.
- Realmente el micromundo no es campo para sus aplicaciones. No obstante, Ehrenfest ha extendido sus enunciados a la mecánica cuántica con el momento lineal.

## Bibliografía

- Ardosain, R. (2014). *Velocidad de propagación de la onda gravitacional*. Recuperado de URL <https://rubenardosain.wordpress.com/2014/09/24/velocidad-de-propagacion-de-la-onda-gravitacional/>
- Ehrenfest, P. (1959), *Collected Scientific Papers*, Amsterdam, Holanda: North-Holland Publishing Company.
- Euler, L., y Mínguez Pérez, C. (1900). *Cartas a una princesa de Alemania sobre diversos temas de física y filosofía*. Zaragoza, España: Prensas Universitarias.
- Grupo de NASA E/PO en la Universidad del Estado en Sonoma, California. *La Primera Ley de Newton: Ley de la Inercia*. Recuperado de URL [https://imagine.gsfc.nasa.gov/observatories/learning/swift/classroom/docs/law1\\_guide\\_spanish.pdf](https://imagine.gsfc.nasa.gov/observatories/learning/swift/classroom/docs/law1_guide_spanish.pdf)
- Hernández Trujillo, J. (s/f). *Mecánica Cuántica*. México: Facultad de Química, UNAM. Recuperado de URL <http://depa.fquim.unam.mx/jesusht/mcnotas.pdf> <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfísica/magnet/fuerzomag.html>
- Martín, T. y Serrano, A. (s/f). *Fuerza magnética sobre una carga eléctrica*. España: Universidad Politécnica de Madrid (UPM). <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfísica/magnet/fuerzomag.html>
- Rada García, E. (trad.) (2003). *Principios matemáticos de la filosofía natural. Newton. Vida, pensamiento y obra, A hombros de gigantes. Las grandes obras de la física y la Astronomía*. Barcelona: Crítica.
- Schonfeld, M. (2000). *The Philosophy of the Young Kant: The Precritical Project*. (1ª Ed.). Oxford University: Edición Kindle.
- Vallejo, F. (2016). *Las bolas de Cavendish*. Bogotá: Penguin Random House - Grupo Editorial Colombia.