

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



COORDINACIÓN DE CIENCIAS APLICADAS

BOLETÍN

FEBRERO DE 2019

SEMESTRE 2019-2



Nueva época, No. 22

TEXTOS SELECTOS DE NEWTON Versión original, traducción y comentarios

ING. JUAN OCÁRIZ CASTELAZO

Dibujos de Miguel Tadeo Vázquez Martínez

Deseamos presentar en este boletín una revisión de los fundamentos de la Mecánica clásica. Hemos considerado que lo mejor es recurrir a los textos escritos por Sir Isaac Newton, sobre cuyas leyes se asienta dicha ciencia. Seleccionaremos algunos textos de su obra, Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica, que escribió mientras ocupaba la cátedra lucasiana del Trinity College de la universidad de Cambridge, en 1686, o sea, hace trescientos treinta y tres años. Después de comentar los textos, haremos un análisis del conjunto, para concluir con una visión compacta de los verdaderos axiomas y definiciones de la ciencia fundada por el sabio inglés.

*Escribimos en primer lugar el texto original en latín con **negritas redondas**, su traducción con **negritas cursivas** y los comentarios con blancas redondas. Estos cambios de estilo pueden dificultar la lectura corrida, pero esperamos que contribuyan a entender mejor el contenido.*

PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA PRINCIPIOS MATEMÁTICOS DE LA FILOSOFÍA NATURAL

El título de la obra nos deja ver que la Mecánica que Sir Isaac ha de fundamentar es una ciencia que pertenece a la Física, es decir, a la Filosofía natural, la cual es verdadera ciencia, entendida como conocimiento cierto por causas.

A partir de esta obra, la ciencia adquirió tal prestigio, que las ciencias naturales, incluso la Física, se escindieron de la Filosofía. Se comenzó a llamar así exclusivamente a la ciencia cuyo objeto son las causas remotas. También quedaron separadas las humanidades o ciencias del hombre, por cuanto su método no exige experimentación ni el uso de las Matemáticas.

La ciencia, como es obvio, busca el conocimiento verdadero. Pero no lo garantiza: solo es ca-

paz de ofrecer certeza, no la verdad. Si los principios son verdaderos, las deducciones serán verdaderas. La certeza no es más que un estado de la mente que produce una seguridad subjetiva.

¿Por qué un profesor inglés, que no ha salido de la Isla, escribe su libro en latín? La razón es patente: el latín era el idioma culto y resultaba mucho más inteligible para la comunidad científica internacional que el inglés.

PRÆFATIO AD LECTOREM PREFACIO PARA EL LECTOR

Mechanica rationalis erit scientia motuum qui ex viribus quibusquam resultant, et virium quæ ad motus quoscumque requiruntur.

La Mecánica racional será la ciencia de los movimientos que resultan de cualesquiera fuerzas, y de las fuerzas que se requieren para cualesquiera movimientos.

En este párrafo seleccionado del prefacio, el residente del Trinity College nos presenta la definición de la Mecánica racional.

In his edendis, vir acutissimus et in omne literarum genere eruditissimus Edmundus Halley operam iuvavit nec solum Typothetarum Sphaltana correxit et schemata incidi curavit, sed etiam author fuit ut horum editionem aggrederer.

En estos trabajos de edición, el agudísimo y eruditísimo en todas las letras Edmund Halley ayudó: no solo corrigió la tipografía y cuidó la impresión de los dibujos, sino que también es quien logró que yo acometiera la edición de estos asuntos.

Es de notar la cercana relación del Científico inglés con el astrónomo Halley. Tenían muchos intereses comunes. Sir Edmund estudió el cometa que lleva su nombre y que nos visitó durante siglos cada setenta y cinco años; después de su último viaje a la Tierra en 1986, su aproximación a Júpiter cambió su órbita y no volverá a visitarnos.

DEFINITIONES DEFINICIONES

Definitio I Primera definición

Quantitas materiæ est mensura ejusdem orta ex illius densitate et magnitudine conjunctim

La cantidad de materia es la medida de la misma a partir de su densidad y su tamaño conjuntamente.

Hanc autem quantitatem sub nomine corporis vel massæ in sequentibus passim intellego. Innotescit ea per corporis cujusque pondus. Nam ponderi proportionalem esse reperi per experimenta pendulorum accuratissime instituta, uti posthac docebitur.

Esta cantidad, pues, la entiendo bajo el nombre de cuerpo o masa en todos los lugares de lo que viene después. De cualquier cuerpo ella se conoce por el peso. Pues he hallado que es proporcional al peso, mediante agudísimos experimentos con péndulos, para que se pueda enseñar en lo sucesivo.

Esta primera definición es muy clara. Pero quizá convenga entenderla en un cierto sentido inverso, es decir, que masa (o cuerpo) es la cantidad de materia. Se antoja como más útil definir masa, que definir cantidad de materia.

Es importante distinguir cuerpo de materia. Si hablamos de oro no hablamos de cuerpo, sino de materia; si decimos anillo de oro, nos referimos a un cuerpo. O sea, el cuerpo (o masa) es cierta porción de materia.

La afirmación de que la cantidad de materia proceda conjuntamente de la densidad y el tamaño conjuntamente, significa que la masa se obtiene con el producto de la densidad y el volumen; y así, la densidad es la razón de la masa al volumen.

La demostración del Sabio británico de que el peso es proporcional a la masa nos permite escribir que $P = mg$, en donde g es la constante de proporcionalidad, cuyo valor podrá determinarse experimentalmente.

Definitio II Segunda definición

Quantitas motus est mensura ejusdem orta ex velocitate et quantitate materiæ conjunctim

La cantidad de movimiento es la medida de la misma a partir de la velocidad y de la cantidad de materia conjuntamente.

Con el lenguaje que empleamos actualmente, podemos definir la cantidad de movimiento como el producto de la masa por la velocidad, ya que aquélla es precisamente lo que Newton llama cantidad de materia. Para el autor de los *Principia* movimiento equivale a cantidad de movimiento.

Definitio III *Tercera definición*

Materiae vis insita est potentia resistendi, qua corpus unumquodque, quantum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum

Hæc semper proportionalis est suo corpori, neque differt quicquam ab inertia massæ, nisi in modo concipiendi. Per inertiam materiae fit, ut corpus omne de statu suo quiescendi vel movendi difficulter deturbetur. Unde etiam vis insita nomine significantissimo *vis inertæ* dici possit.

La fuerza ínsita de la materia es la capacidad de resistir por la cual un cuerpo cualquiera, en cuanto puede por sí, persevera en su estado o de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme.

Ésta es siempre proporcional al cuerpo y no difiere en nada de la inercia de la masa, salvo en el modo de concebirla. Por la inercia de la materia todo cuerpo difícilmente es perturbado de su estado de reposo o de movimiento. De donde también el nombre de fuerza ínsita pueda decirse fuerza de inercia de modo más significativo.

Lo que llama Newton fuerza ínsita (es decir, “situada adentro”) o de inercia es claramente una propiedad de la masa, ya que es **potentia**, o sea, capacidad. Curiosamente, la palabra **inertia-æ** significa incapacidad; un cuerpo inerte es también un cadáver, incapaz de moverse.

Definitio IV *Cuarta definición*

Vis impressa est actio in corpus exercita, ad mutandum ejus statum vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum

La fuerza impresa es una acción ejercida en el cuerpo, para cambiar su estado o de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme

Est autem vis impressa diversarum originum, ut ex ictu, ex pressione, ex vi centripeta.

Hay fuerza impresa de diversos orígenes, como de un golpe, de la presión, de la fuerza centrípeta.

Decir que una fuerza es impresa, significa que presiona u oprime al cuerpo. Parecería que se tratara de una fuerza por contacto; sin embargo, al decir que uno de sus orígenes puede ser la fuerza centrípeta, que va a definir a continuación: tendremos que ver si también se ejerce por contacto o no.

Definitio V *Quinta definición*

Vis centripeta est, qua corpora versus punctum aliquod, tamquam ad centrum undique trahuntur, impelluntur, vel utcumque tendunt

Fuerza centrípeta es aquella por la que los cuerpos de donde sea son jalados, empujados o tienden de cualquier manera hacia un punto, como a su centro.

Huius generis est gravitas, qua corpora tendunt ad centrum Terræ; vis magnetica, qua ferrum petit magnetem; et vis illa, quæcumque sit, qua planetæ perpetuo retrahuntur motibus rectilineis, et in lineis curvis revolvi coguntur.

De este género es la pesadez, por la que los cuerpos tienden hacia el centro de la Tierra; la fuerza magnética, por la que el fierro se dirige al imán; y aquella fuerza, la que sea, por la que los planetas son retraídos perpetuamente de sus movimientos rectilíneos y obligados a dar vueltas en líneas curvas.

Projectile, si vi gravitatis destitueretur, non defelcteretur in terram, sed in linea recta abiret in cælos.

Un proyectil, si se suprime la fuerza de pesadez, no se desviaría hacia la tierra, sino que se iría en línea recta a los cielos.

Est autem vis huius centripetæ quantitas trium generum, absoluta, acceleratrix, et motrix.

La cantidad de esta fuerza centrípeta es de tres géneros: absoluta, aceleratriz y motriz.

La explicación de los *Principia* a esta definición es muy larga. Una de las preocupaciones centrales de los científicos del siglo XVII era conocer el movimiento de los astros; y la fuerza que el Sol ejerce sobre los planetas es precisamente una fuerza centrípeta. Lo mismo que la que la Tierra ejerce sobre la Luna. Se trata de una fuerza ejercida a distancia.

Por esa misma razón, la obra del Profesor de Cambridge se refiere a cuerpos cuyas dimensiones no son tomadas en cuenta; como si todo el cuerpo estuviera concentrado en un solo punto.

Fiel a esa preocupación de la época, las definiciones VI, VII y VIII con las que termina el apartado, se refieren a los géneros de la cantidad o magnitud de la fuerza centrípeta.

SCHOLIUM ESCOLIO

Hactenus voces minus notas, quo sensu in sequentibus accipiendæ sint, explicare visum est. Tempus, spatium, locus et motus, sunt omnibus notissima.

Parece que ya están explicadas las voces menos conocidas y el sentido en que deben entenderse en lo que sigue. Tiempo, espacio, lugar y movimiento son conocidísimas por todos.

Un “escolio” no es sino una explicación de lo que se ha expuesto.

Sería completamente imposible pretender definir todas las palabras que habrán de utilizarse: ni siquiera se podría comenzar. Siempre hay que contar con que las más comunes son inteligibles para cualquier lector. Y, aunque más adelante Sir Isaac distinguirá los tiempos, espacios, lugares y movimientos absolutos de los relativos, resulta efectivamente innecesario definir tales conceptos.

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS AXIOMAS O LEYES DEL MOVIMIENTO

Ahora vienen los enunciados de los tres principios que sustentan toda la Mecánica del Científico del Trinity College. Se trata de tres proposiciones que ni son evidentes ni van a demostrarse, ya que son, precisamente, el principio: no hay ninguna proposición anterior a partir de la cual pueda

demostrarse algo. Por “principio” se entiende aquello de lo cual algo procede de algún modo.

Lex I Primera ley

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

Todo cuerpo perseverare en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, hasta que es obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado.

Esta ley ha venido llamándose “ley de la inercia”, pues dicha propiedad de la masa es la razón de este comportamiento. Antes de Galileo, que ya había propuesto una ley semejante, no se entendía por qué los cuerpos continuaban moviéndose una vez retirada la fuerza motriz. El hombre de hoy sabe que es a causa de la inercia.

Queda claro que tanto el reposo como el movimiento rectilíneo uniforme son manifestaciones del equilibrio de un cuerpo, pues no requieren la acción de ninguna fuerza. Pero para cambiar, tiene que actuar otro cuerpo sobre él.

Pero ¿qué cuerpo está en reposo? Los cuerpos que vemos quietos a nuestro alrededor decimos que están en reposo, sin embargo, se están moviendo junto con la Tierra. Quizá no exista en el universo un cuerpo en reposo. No hay que perder de vista que para conocer se requiere hacer abstracciones y simplificar, lo cual es un procedimiento común en toda ciencia. Debemos ser conscientes de que, efectivamente, los cuerpos que solemos considerar en reposo pueden perfectamente ser los sujetos de esta ley, sabiendo que cometeremos un ligerísimo error, cuya magnitud podemos incluso calcular, pero que no afecta los resultados prácticos que se obtienen. Lo correspondiente se puede afirmar de los cuerpos que se mueven en línea recta con velocidad constante.

El reposo y el movimiento rectilíneo uniforme son verdaderos estados, por cuanto son estables. En ambos casos, el cuerpo está en estado de equilibrio (de *æquus-a-um*, igual, y *librium*, pesos), en que las fuerzas se compensan unas con otras.

Lex II Segunda ley

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimatur

El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y se realiza según la línea recta en la que aquella fuerza se imprime

Sir Isaac ya explicó qué es una fuerza impresa en sus definiciones, y cómo puede ser por contacto o a distancia. El adjetivo de motriz significa que provoca un movimiento. Si colocamos una caja sobre el piso, aquella ejercerá sobre éste una fuerza impresa, en el mejor sentido del calificativo, pero no será motriz, pues no se producirá ningún movimiento.



Aunque las tres son importantísimas e insustituibles, esta segunda ley representa una revolución del pensamiento. A partir de este enunciado la humanidad aprendió que las fuerzas no son proporcionales a las velocidades de los cuerpos, sino a sus cambios de velocidad.

Lex III Tercera ley

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

A toda acción corresponde siempre una reacción igual y contraria; o bien, las acciones mutuas de dos cuerpos son siempre iguales y de dirección contraria.

Esta ley se conoce con el nombre de ley de la acción y la reacción. Es claro que tanto por acción como por reacción Sir Isaac entiende fuerzas.

Quidquid premit vel trahit alterum, tantumdem ab eo premitur vel trahitur: Si quis lapidem digito premit, premitur et hujus digitus a lapide.

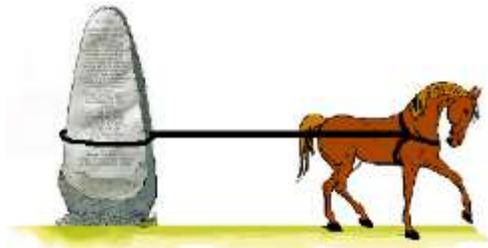
Cualquier cuerpo que empuja o jala a otro, de ese mismo modo es empujado o jalado por él: si alguien empuja una piedra con el dedo, también su dedo es empujado por la piedra.

Es muy común que se cite el primer párrafo de esta ley y se omita el segundo, como si fuera superfluo. Y eso es causa de muchos errores de comprensión del comportamiento de las fuerzas. El segundo párrafo y la explicación que hemos copiado de los *Principia* son sumamente luminosos.

Es frecuente que al planteamiento “acción: el dedo empuja la piedra”, el ingenuo responda “reacción: la piedra se mueve”.

Si equus lapidem funi alligatum trahit, retrahetur etiam et equus (ut ita dicam) æqualiter in lapidem: nam funus utrinque distentus eodem relaxandi se conatu urgebit equum; tantumque impedit progressum unius quantum promovet progressum alterius.

Si un caballo jala una piedra atada con una cuerda, el caballo también es jalado (por así decirlo) igualmente que la piedra: pues la cuerda, estirada por los dos extremos, en el intento de relajarse forzará al caballo; y tanto impedirá el progreso de uno como promoverá el progreso del otro.



En este simpático ejemplo, el residente del Trinity College menciona tres cuerpos: el caballo, la cuerda y la piedra. De modo que la acción del caballo produce una reacción igual y de dirección contraria de la cuerda; y ésta produce otra acción sobre la piedra, y la piedra otra reacción sobre la cuerda.

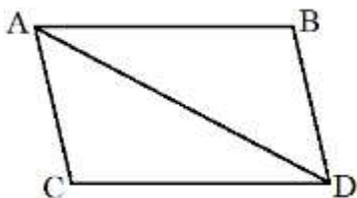
Corollarium I Primer corolario

Corpus viribus conjunctis diagonalem parallelogrammi eodem tempore describere, quo latera separatis.

Un cuerpo sujeto a dos fuerzas juntas describe la diagonal del paralelogramo que en el mismo tiempo describiría si las fuerzas actuaran separadas.

Un “corolario” es una proposición que se deduce inmediatamente de una afirmación anterior, en este caso, de las leyes recién enunciadas. Éste, en particular, es de la segunda.

El claro antecedente de este corolario no es otro que el principio de Stevin (o ley del paralelogramo). El Ingeniero holandés habla de fuerzas, Newton, de cambios de la cantidad de movimiento.



El dibujo que presentamos arriba está tomado de la edición de los *Principia*. Sin duda es una de las figuras cuya impresión tuvo Halley a su cuidado.

Estimado lector: sinceramente, ¿es Ud. capaz de deducir este corolario de la segunda ley? Ojalá un día nos lo pueda explicar. Más bien parece o que juzgaba evidente el principio de Stevin, o que con esta proposición el autor de los *Principia* quería ampliar el contenido de su pensamiento.

Corollarium II *Segundo corolario*

Et hinc patet compositio vis directæ AD ex viribus quibusvis obliquis AB et BD, et vicesim resolutio vis cujusvis directæ AD in obliquas quascumque AB et BD. Quæ quidem compositio aut resolutio abunde confirmatur ex mechanica.

Y así queda patente la composición de la fuerza directa AD partiendo de cualesquiera fuerzas oblicuas AB y BD, y viceversa, la resolución de cualquier fuerza directa AD en cualesquiera oblicuas AB y BD. Las cuales composición y resolución se confirman abundantemente en la mecánica.

Este es corolario del primer corolario y más claro. A la resolución de fuerzas también la solemos llamar descomposición.

Debemos entender que la composición y la resolución son sustituciones de las fuerzas que siguen produciendo el mismo cambio de la cantidad de movimiento en el cuerpo en que actúen. El proceso puede reiterarse cuantas veces se desee para reducir un sistema de mil fuerzas a una equivalente.

En esta primera parte de la obra de Newton hay cuatro corolarios más y un escolio. Pero pasaremos a conocer una sección del libro III.

Liber III. De mundi systemate *Tercer libro. Acerca del sistema del mundo*

Propositio VII. Theorema VII *Séptima proposición. Séptimo teorema*

Gravitatem in corpora universa, fieri, eamque proportionale esse quantitate materiæ in singulis.

Se ejerce pesadez en todos los cuerpos entre sí, y es proporcional a su cantidad de materia.

Aquí tenemos con todas sus letras la primera parte de la llamada “ley de la gravitación universal”. Como se ve, aunque sea una ley que gobierne todos los cuerpos, no lo es en el mismo sentido de las tres leyes o axiomas que constituyen los principios de la Mecánica. Esta ley no es un principio.

Gravitación es pesadez o pesantez; universal, de todos los cuerpos. Es el descubrimiento mas conocido del Sabio de Cambridge, pues da razón de una fuerza ejercida a distancia de la que no se sospechaba nada, salvo en el caso de la Tierra que produce el peso sobre los cuerpos cercanos a su superficie.

Gravitatio in singulis corporis particulis æquales est reciproce ut quadratum distantiae locorum a particulis.

La pesadez hacia todas las partículas iguales de los cuerpos es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los lugares de las partículas.

Con este comentario a la misma proposición VII, aparece la segunda parte de la ley de la pesadez de todos los cuerpos.

Los cuerpos que nos rodean se ejercen mutuamente fuerzas de este tipo. No obstante, las masas —i. e., las cantidades de materia— son tan pequeñas que resultan fuerzas imperceptibles y se suelen despreciar en los problemas de Mecánica. Las únicas que se toman en cuenta son los pesos de los cuerpos, ya que es muy grande la masa de la Tierra.

ANÁLISIS DEL CONJUNTO DE LOS TEXTOS

Hemos revisado unos poquísimos pasajes de los *Principia*. Intentaremos ahora analizarlos para tener una visión de conjunto.

Las definiciones de masa, cuerpo y cantidad de movimiento son muy claras y constituyen los conceptos que empleamos en el siglo XXI. En cambio, la definición de fuerza no aparece explícita.

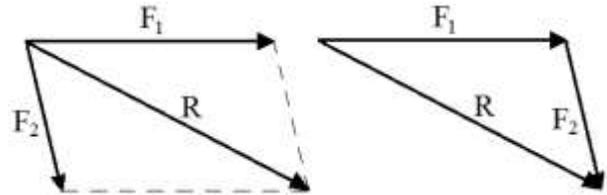
La primera vez que utiliza la palabra fuerza Sir Isaac, es en el prefacio y afirma que es productora del movimiento. Luego, en las definiciones, habla de fuerza ínsita, de fuerza impresa y de fuerza centrípeta. Por último, en las leyes se refiere a la fuerza motriz impresa, y de acción y reacción. ¿Qué debemos pensar sobre esto?

En el caso de las fuerzas impresa y centrípeta, y de acción y reacción, podemos observar que se trata precisamente de la acción de un cuerpo sobre otro. En cambio, cuando habla de fuerza ínsita o de inercia, es claro que está describiendo una propiedad de la masa y que, por tanto, el sentido de fuerza que le da no corresponde con el de los anteriores. Aunque sea verdad que afecta el movimiento, en tanto que lo resiste, parece correcto que los textos de Mecánica actuales no consideren que la inercia sea una fuerza.

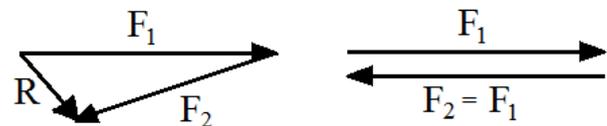
De cualquier forma, debemos distinguir con claridad las fuerzas externas, que ejercen otros cuerpos sobre el que se estudia, de las internas, que unas partes del cuerpo ejercen sobre otras. Las fuerzas por contacto, que tocan al cuerpo, de las que actúan a distancia, como las pesadeces y las fuerzas magnéticas.

De los corolarios de las leyes importa mucho saber que de un paralelogramo podemos tomar un triángulo, en que dos fuerzas dadas, colocadas una

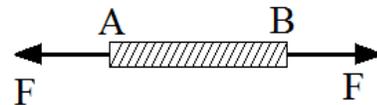
a continuación de la otra, forman dos de los lados, y el tercero corresponde a la resultante. Si representamos las fuerzas con segmentos dirigidos de recta, el proceso lo podemos ver en la siguiente figura, y saber que de este principio nacerían, siglo y medio después, los conceptos de vector y de suma vectorial



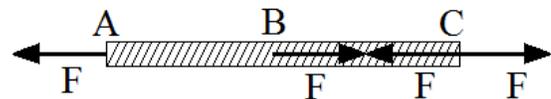
Llevemos este método al extremo. Sean dos fuerzas de cierta magnitud, con las direcciones mostradas en la figura. Su resultante será pequeña. Pero si dos fuerzas de la misma magnitud tienen direcciones contrarias, su resultante es nula: se trataría de un sistema de fuerzas en equilibrio (siempre y cuando actuaran sobre el mismo cuerpo).



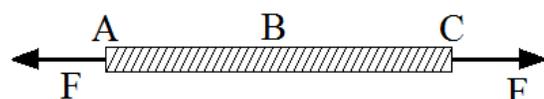
Vayamos ahora al ejemplo de la tercera ley, del caballo, la cuerda y la piedra. El caballo y la piedra jalan la cuerda por los extremos, que llamaremos A y B.



Pero supongamos que la cuerda tiene el doble de longitud, de modo que ahora es la cuerda ABC. Vamos a aplicar en C dos fuerzas iguales, colineales de dirección contraria, de modo que, como es un sistema de fuerzas en equilibrio, no se alterarán los efectos externos que sufre la cuerda.



Observemos que las dos fuerzas del centro son de igual magnitud y dirección contraria, por tanto, están en equilibrio y pueden retirarse de la cuerda sin que se alteren los efectos externos.



Al final tenemos entonces que la fuerza se ha deslizado sobre su línea de acción y todos los efectos permanecen invariable. En esto consiste la transmisibilidad de las fuerzas.

Examinemos la ley de la pesadez de todos los cuerpos —que esto significa gravitación universal—. Vimos que se presenta como teorema en dos partes: por una, afirma el del Trinity que es proporcional a la cantidad de materia, es decir, a la masa de los cuerpos; y, por otra, que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de los lugares en que se encuentran. Parece muy correcto, pues, expresar esta ley simbólicamente así:

$$F = G m_1 \cdot m_2 / r^2$$

En esta expresión m_1 y m_2 son las masas, r la distancia, y G , que es la constante de proporcionalidad, se denomina constante de gravitación universal. Su valor fue determinado experimentalmente por Cavendish; en el Sistema Internacional de Unidades, es

$$G = 6.673 (10^{-11}) \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$$

Conviene notar que si un cuerpo pesa 60 kilogramos, significa que la Tierra lo atrae con una fuerza de 60 kilogramos. Y que, conforme a la ley de la acción y la reacción, ese cuerpo atrae a la Tierra hacia sí con una fuerza de 60 kilogramos.

Habíamos dicho que el peso se podría expresar como el producto de la masa por una constante: esa constante, g , tiene el valor de la aceleración de la gravedad: 9.81 m/s^2 , ó 32.2 ft/s^2 .

UNA SÍNTESIS PROPOSITIVA

El entero libro *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* contiene los principios de la Mecánica, que ahora denominamos clásica. La obra está dividida en tres libros: el primero se ocupa de las definiciones y los axiomas o leyes; el segundo, de deducir distintos fenómenos del movimiento a partir de las leyes, y el tercero, de los fenómenos celestes, deduciéndolos también de las leyes o axiomas.

Creemos, sin embargo, que los principios que se requieren para los estudios de ingeniería pueden sintetizarse muy sucintamente a la luz de los textos que hemos comentado y analizado. Proponemos esa síntesis a continuación.

Definiciones

—*Masa o cuerpo*: cantidad de materia

—*Cantidad de movimiento*: producto de la masa por la velocidad

—*Inercia*: resistencia de un cuerpo a cambiar su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme

—*Fuerza*: acción de un cuerpo sobre otro, capaz de producir su movimiento

—*Fuerza externa*: la producida por otro cuerpo

—*Fuerza interna*: la que ejerce una parte del cuerpo sobre otra

—*Fuerza por contacto*: un cuerpo toca al otro

—*Fuerza a distancia*: se ejerce estando los cuerpos alejados, como el peso y las electromagnéticas

—*Peso de un cuerpo*: fuerza con que la Tierra lo atrae. Es proporcional a la masa: $P = mg$

—*Equilibrio*: estado de un cuerpo de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme

—*Composición de fuerzas*: sustitución de dos fuerzas por una sola que produce los mismos efectos

—*Resolución o descomposición*: sustitución de una fuerza por dos que producen los mismos efectos

Principios (tal como aparecen en los textos seleccionados)

—*Primera ley de Newton o ley de la inercia*

—*Segunda ley de Newton, que se puede reducir, empleando lenguaje vectorial moderno, a la expresión $F = ma$*

—*Ley del paralelogramo o principio de Stevin*

—*Tercera ley de Newton o ley de la acción y la reacción*

Teoremas

—*Del equilibrio de dos fuerzas*: dos fuerzas de la misma magnitud y de direcciones contrarias están en equilibrio

—*De la transmisibilidad*: las fuerzas pueden deslizarse sobre su línea de acción sin que se alteren los efectos que producen

Con este sencillo aparato teórico se pueden deducir todos los contenidos de la Mecánica newtoniana, sin necesidad de recurrir a otros principios. ■