

LIC. GUILLERMO FONTHAL
MARACAIBO

DEL TERMINO IMPETUS, DE OLIVI A NEWTON

RAICES DE LA CIENCIA MODERNA EN LA EDAD MEDIA

PREFACIO

Este trabajo constituye un modesto esfuerzo dirigido a rastrear en la Edad Media los orígenes de uno de los principales pilares de la Física actual, como es el conocido principio de Inercia.

Las tres leyes de Newton, dentro de las cuales la Ley de Inercia es su primer principio, representan aún en nuestros días los pilares fundamentales de la Mecánica; están contenidos, y no eliminados, como erróneamente se cree, dentro de la teoría relativista einsteiniana vigente hoy y por mucho tiempo seguramente. Pues a ésta última estamos esperando mayores adelantos de la tecnología para «probar en el laboratorio» sus principales hallazgos teóricos.

A partir de los extraordinarios trabajos de Pierre Duhem, a principios de este siglo, la encendida polémica acerca de la continuidad o no de la ciencia desde la Edad Media hasta nuestros días constituye una *disputatio* aún vivante debatida. Estas dos vertientes, que parecen irreconciliables, disponen de sus respectivos defensores y es aquí, en este torbellino donde he caído y desde donde trataré de presentar al lector una visión «no comprometida» (si es que ésto último tiene algún sentido).

Haciendo mías las palabras de A. Koyré "... la historia no obra por saltos bruscos; y las netas divisiones en períodos y épocas no existen más que en los manuales escolares. Una vez que se empiezan a analizar las cosas un poco más de cerca, la ruptura que se creía ver al principio, desaparece; los contornos se difuminan, y una serie de gradaciones insensibles (aparecen)..." (1); pensamiento que comparto plenamente y que ha inspirado el espíritu de este ensayo. El propio Koyré junto con A.C. Crombie representan en la época contemporánea las dos posiciones contrarias que jalonan las discusiones y entre las cuales terciaré tratando de presentar mis propias opiniones, cuando haya oportunidad, según la interpretación

1) A. Koyré, *Estudios de la Historia del Pensamiento Científico, Siglo Veintiuno*, Editores, México 1978, p. 9.

de la realidad que hace hoy la Física y ciencias afines. Me parece que solamente desde la perspectiva actual, tratando de desentrañar de los principios y leyes físicas, sus ideas subyacentes, es como podemos rastrear y valorar lo que se ha dicho y escrito anteriormente sobre el tema. En ocasiones ha sucedido que términos lingüísticos antaño utilizados para significar un fenómeno específico ahora se utilicen para referirse a un principio o hecho completamente diferente, o, a otro escasamente relacionado.

Igualmente se ha cambiado, en ocasiones, durante el devenir del pensamiento científico, los términos lingüísticos que hacen referencia a un mismo fenómeno de la naturaleza. Este doble inconveniente exige un claro conocimiento de los principios científicos para poder « seguirle el hilo » a través de la historia. Otra situación que vale la pena aclarar, cuando se trata de hacer la historia de las ciencias, se relaciona con la lectura de las ideas desde el punto de vista científico exclusivamente. No podemos separar esta historia de la historia de la humanidad y de sus formaciones sociales. En base a problemas y sus soluciones, es como evitamos convertir la historia en la biografía de sus principales exponentes y sistematizadores.

He dividido el trabajo en cinco capítulos, partiendo de la crítica a Aristóteles, que da inicio a las reflexiones y discusiones motivo de nuestro estudio.

Como consecuencia de esas críticas a su concepción del movimiento dinámico (2), trataré de presentar las ideas o alternativas que fueron surgiendo como respuesta racional en el ya irreversible proceso de confrontación entre la razón y la experimentación, que hizo posible la expansión científica a partir del siglo XII.

En el capítulo dos se perfila más claramente lo que dio origen a la *coria del impetus* buscando algunos precursores en occidente los cuales seguramente se apoyaron en los tratados de Averroes, Avempace y Avicena así como también en Tomás de Aquino, quien parece ser el más antiguo e importante crítico de las « leyes » de movimiento de Aristóteles, utilizando el criterio avempaciano.

2) Utilizando, aquí, este último término en su acepción corriente en ciencia, que es, cuando consideramos el movimiento no como su descripción (cinemática) sino atendiendo a las causas que lo producen.

Durante los movimientos nominalistas y terministas, motivo del capítulo tercero, encontramos una teoría acabada sobre el *impetus*, donde se destacan G. Occam, J. Buridán, A. de Sajonia, N. Oresme, como sus más importantes exponentes. Nos detendremos un poco más en este capítulo puesto que del tema que allí se discute es de donde se nutre Galileo para elaborar su principio de Inercia de la materia. En el capítulo cuarto desembocamos en el principio de Inercia galileano como remate preparado desde los capítulos anteriores. Finalmente incluimos el principio de Inercia dentro de la extraordinaria síntesis de Newton arribando de esta manera a la época actual.

Una consecuencia, que sugiero puede sacarse de este rastreo es que solamente después de haberse comprendido la teoría de la Relatividad, el principio de Inercia siempre estuvo acompañado de una concepción animista de la materia, de la cual Newton tampoco pudo deshacerse y que en nuestros Liceos y Universidades todavía se enseña este aspecto de las leyes de Newton.

Y una última aclaración: No pretende este trabajo, ser un tratamiento exhaustivo de los orígenes de nuestra ciencia contemporánea sino que constituye un discurso elemental y sencillo acerca del término *impetus*, su origen y proyección a la Física Moderna, siguiendo una metodología compatible con la cronología y el interés del hombre de cada época por explicar los fenómenos naturales.

Se incluye, además, en el Apéndice A, una justificación (¿demostración?) acerca de la única ley realmente independiente en la que, a mi juicio, se reducen las leyes de Newton (3); trabajo este presentado unos años atrás ante un reducido grupo de especialistas pero inédito y ahora se crean las condiciones favorables para incluirlo dentro de este ensayo, adaptándolo evidentemente a su objetivo, y remozándolo con inspiración filosófica.

Tengo que agradecer al profesor Iván Muñoz al haber revisado el manuscrito y hacerme valiosas sugerencias; evidentemente los errores que aún prevalecen son de mi completa responsabilidad.

G. FONTHAL

Maracaibo, Julio 1979

3) Las tres leyes de Newton se han denominado: 1a. Ley de Inercia; 2a. Ley de la Fuerza y 3a. Ley de Acción y Reacción.

INTRODUCCION

Hay un sentimiento generalizado en el científico y el filósofo desprevénidos, de que la Edad Media constituyó una época donde más de diez siglos se perdieron en la oscuridad del pensamiento y que sus discusiones más importantes estaban relacionadas con asuntos sin importancia, tales como saber cuántos ángeles pueden posarse en la cabeza de un alfiler o si el infierno estaba bajo la tierra o en el espacio extraterrestre. Aquí en parte hay razón y en parte no la hay. Si juzgamos esta época con nuestros valores y conocimientos actuales, evidentemente encontramos un periodo de atraso y sin luces; lo que también puede aplicarse a cualquier época anterior. Sin embargo, al observarlo desde una óptica continuista y adaptada a la época, vemos en él una extraordinaria riqueza fundamental entre los siglos XIII y XIV inclusive: La escolástica y el arte gótico como dos manifestaciones que llenan la vida intelectual y artística de la época.

Estos dos puntos de vistas se han concretizado en dos excelentes académicos como son Alexandre Koyré, partidario y defensor de los cambios revolucionarios y drásticos en la historia del pensamiento científico y A. C. Crombie vehemente defensor de la concepción de la continuidad durante la transición de la Edad Media a la Edad Moderna. Autores como Thorndike, De Sarton, A. Maier y M. Clagett; entre otros, han enriquecido nuestro conocimiento y comprensión de la ciencia medieval y de sus relaciones con la filosofía de la época.

De la misma manera que la influencia caldea, babilónica y egipcia, con un desarrollo matemático y grandes adelantos en la astronomía, jugó un papel de primera línea en el nacimiento de la filosofía en el mediterráneo; así, también, se repite nuevamente este renacer del pensamiento en la Edad Media por la influencia árabe.

Se traduce primero al árabe y después al latín la obra de Aristóteles, privilegio que no gozó Platón

Aproximadamente a partir de la segunda mitad del siglo XII, la introducción de Aristóteles en un mundo platonizado trae frescos vientos que airean el pensamiento medieval y favorecen el acercamiento a la naturaleza, imprimiéndole nueva dinámica al desarrollo científico. Paradójicamente, el método aristotélico recientemente introducido, se vuelve contra él poco tiempo después para dar al traste con las concepciones de la naturaleza que el estagirita, sin proponérselo, había introducido.

Ese rasgo semita, que en las dos oportunidades mencionadas ha determinado un desarrollo vertiginoso del pensamiento y quehacer occidental, ha constituido la contrapartida dialéctica aparentemente necesaria del devenir humano.

La prohibición de Aristoteles en alguna etapa de la Edad Media fue rebasada en la práctica, puesto que no había otra alternativa que satisficiera a las escuelas y universidades; habría de esperarse la aparición de Descartes, tres o cuatro siglos después y no estaban dispuestos a tan larga espera.

Hay una apreciación de Gomperz (4) donde ve en la concepción de Anaximandro, cuando explica la situación de la tierra como una esfera en equilibrio de «equidistancias», una incipiente idea del principio de Inercia; punto de vista con el que no podemos estar de acuerdo, puesto que de esa idea de equilibrio no se pueden deducir las consecuencias propias del principio de Inercia y ni siquiera puede encontrarse relación con la teoría del *impetus*, siendo esta última imperfecta, y con la cual pudiera buscarse alguna relación.

Nuestro punto de partida se sitúa alrededor de 1280 con Pedro Juan Oliv. (Olieu, 1248-1298) donde aparece claramente la teoría del *impetus*. Podemos retroceder aún más hasta Roberto Kilwardby quien, según se sabe, por los 1270 enseñaba semejante teoría en relación con los cuerpos celestes, presentándola como conocida aún con anterioridad.

Una retrospectiva a esta época se hace insegura y oscura, aparentemente porque no nos han llegado informes acerca del tema o porque alrededor de ese tiempo tuvo su origen tal concepción. Sin embargo el análisis cinemático del movimiento como una cuantificación métrica, que es la característica fundamental de la cinemática moderna, podemos situarlo alrededor de los años 1187 a 1260 (5), cuando Gerardo de Bruselas escribió su importante tratado: *De Motu*. Nos interesa en este ensayo solamente lo que pudiera tener relación directa con la ley de Inercia, como es la teoría del *impetus*, la cual se enmarca dentro de la Dinámica, la otra rama de la Física que constituye, junto con la Cinemática y la Estática, la Mecánica.

4) Citado por R. Mondolfo, *El Pensamiento antiguo*, Editorial Losada Buenos Aires p. 45.

5) Los estudios de Clagett ubican durante este intervalo, bastante amplio por cierto, la publicación del tratado *De Motu*.

El tratamiento cinemática del movimiento ha sido más fácil de rastrear puesto que la definición de velocidad, como se conoce después de Newton, ya el mismo Aristóteles la había presentado de una manera muy semejante cuando habla de proporciones entre distancia y tiempo. Mas no sucede lo mismo con el tratamiento dinámico del movimiento, pues éste tiene su aparición en la Edad Media y es precisamente con la teoría del *impetus*.

Volviendo a mis palabras originales del científico y filósofo desprevenidos podemos estar de acuerdo con Fraile (6) cuando nos dice que: "Hoy nos resulta tan difícil comprender el entusiasmo de los escolásticos del siglo XIII ante las nuevas adquisiciones científicas, como el apasionamiento de los humanistas del Siglo XV, que saltaban de gozo ante el hallazgo de algún códice de la antigüedad clásica. Lo cierto es que, a partir de ese tiempo, el estudio adquiere un sentido nuevo.

Ya no es la *lectio divina*, alternada con el oficio divino y el trabajo manual, ordenada a la satisfacción del alma.

El estudio y la enseñanza de la teología adquiere un sentido científico, técnico y profesional... la enseñanza de la teología no la hacen los obispos ni los sacerdotes... sino profesores, «doctores» o «maestros» con grados académicos..."

La doctora A. Maier presenta sus dudas acerca de la relación entre la teoría del *impetus* y el principio de Inercia, denunciándolas falsas analogías; pero encuentra algunas analogías no falsas entre este término y otras nociones de la Física Moderna como, por ejemplo, con el concepto de *momentum* (o cantidad de movimiento). Trato de mostrar al final, que la apreciación de la señora Maier no es afortunada, puesto que el principio de Inercia y el concepto de cantidad de movimiento son inseparables y uno lleva hacia el otro, o en otras palabras, ambos conceptos son expresiones de un mismo fenómeno. Si hay analogía con uno debe haberla necesariamente con el otro.

1. LA CRITICA DE ARISTOTELES

El movimiento *kinesis*, a partir de los jónicos y hasta el final de la Edad Media, ha tenido un sentido más amplio del que hoy le damos a éste.

(6) G. Fraile: *Historia de la Filosofía*, (2) Biblioteca de Autores Cristianos, Madrid, 1975, p. 106.

En él se involucraba el movimiento original del cosmos, a partir del cual se crearon todas las cosas del universo, así como también el movimiento cuantitativo (aumento y disminución); el movimiento cualitativo o alteración; la generación y la corrupción, y el movimiento local, es decir, el cambio de lugar. A éste último es al que nos referiremos.

<<La actualidad de lo posible en tanto que posible>> define Aristóteles el movimiento, es el paso de ser en potencia a ser en acto.

Si se sigue este camino, el movimiento es natural. El <<estado natural>> de las cosas constituye desde Aristóteles la pauta fundamental para explicar o justificar cualquier comportamiento de los objetos físicos.

Esto inspiró, durante toda la Edad Media, y me atrevo a asegurar que hasta la primera mitad de este siglo, la concepción del movimiento de los objetos.

La propia actividad <<vital>> de los cuerpos en movimiento, lo que determina los diversos grados de su movimiento, constituye el *pump-siquismo* presente en la descripción de los móviles.

Los cuerpos inanimados, dice Aristóteles, poseen un <<estado natural>> de reposo, y los seres vivos un <<estado natural>> de movimiento. Cualquier perturbación externa produce un desequilibrio temporal, pero el objeto tratará de volver a su situación natural cuando dicho agente exterior deje de actuar. De manera <<innatural>> se puede producir el movimiento de una piedra, por ejemplo, pero ella tratará de volver a su estado <<natural>> de reposo.

Igualmente los seres vivos al obligarlos a permanecer en reposo ellos tratan de resistirse puesto que su <<estado natural>> es el movimiento.

Los cuatro elementos (7) de la naturaleza, ordenados en esferas concéntricas sublunares, ocupan sus lugares naturales cada uno de ellos. Así pues, la tierra, por ser más pesada, ocupa el lugar más bajo, y el fuego el lugar más alto, puesto que es el más liviano.

Intermedios están el agua cerca de la tierra, y el aire cerca del fuego.

7) Aristóteles recoge de los presocráticos los cuatro elementos constituyentes de la naturaleza: Tierra, agua, aire y fuego.

Según la composición de los cuerpos ellos tratarán de moverse hacia su « estado natural », si el elemento predominante en su constitución es la tierra, el cuerpo tratará de caer buscando su sitio natural. Si es fuego, tratará de subir por la misma razón anterior.

En un objeto compuesto por varios elementos su movimiento estará determinado por el elemento predominante. Se ve, entonces, que solamente hay dos movimientos « naturales » como son hacia arriba y hacia abajo (8).

Los movimientos laterales se producen por la acción « violenta » que los saca de su « estado natural ». Al dejar de actuar el agente y cuando la acción violenta se agota, o se termina, entonces el objeto se irá a ubicar en su « sitio natural ».

Analicemos más detalladamente lo expuesto arriba y tengámoslo muy presente para cuando definamos la primera ley de Newton. (9). Razonando a la manera aristotélica podemos analizar el caso de una piedra, por ejemplo, lanzada horizontalmente cerca de la superficie terrestre. El movimiento horizontal no es « natural » en consecuencia se precisa de una « fuerza » violenta que le haga describir la trayectoria horizontal, es decir, sacarla de su « movimiento natural » que es hacia abajo. Al dejar de actuar el agente externo, la piedra aún conserva la « violencia » suministrada por la fuerza (10) y solamente cuando esta última se agota (i.e. por la resistencia del aire) ella empieza a caer hacia su « sitio natural ». Aristóteles deduce que en el vacío no debe existir el movimiento puesto que la « caída » sería instantánea (11) debido a la ausencia de resistencia.

De la Dinámica de Aristóteles nombraremos solamente dos cosas más. La primera relacionada con la caída libre de los cuerpos, donde explicaba el

8) Según Aristóteles hay otro movimiento, aún más « perfecto », que es el movimiento circular de los cuerpos celestes.

9) Newton publicó el enunciado de esta Ley por primera vez en el año 1687. Hoy se enseña este mismo enunciado sin cambiarle una letra. (Vide *infra* p. 39).

10) Aristóteles define la velocidad como: $v = \text{fuerza motriz/resistencia}$. Hoy son evidentes los argumentos para considerarla equivocada.

11) Aquí tiene Aristóteles una visión premonitrice cuando considera la imposibilidad de velocidad infinita para los objetos materiales, pero peca cuando concluye que debido a lo anterior el vacío no debe existir.

aumento de velocidad (después se llamó aceleración y así nos llega hoy) debido al acercamiento que iba teniendo el cuerpo hacia su « sitio natural ».

Aquí es clara su concepción animista cuando le da, por ejemplo, a la piedra el « deseo » de llegar lo más rápido posible a su esfera natural. Los cuerpos más pesados caen más rápido que los más livianos: este fue su gran *lapsus experientiae*.

La segunda se refiere a la explicación física del por qué la piedra o la flecha continúa su movimiento después de abandonar la mano o el arco. Para tratar de mantener su definición de velocidad producida por una fuerza motriz, dice que el arco comunica al aire circundante el « poder de ser un moviente » y que este último se encarga de impulsar la flecha durante su trayectoria, hasta que el efecto se consume. Su definición de velocidad trae como consecuencia que todo movimiento debe ser producido por una « fuerza motriz » o motor (12).

Son muchas las críticas y muchos los autores que han atacado o defendido el punto de vista aristotélico, sin embargo para el propósito que nos hemos trazado sólo haremos referencia a las críticas que pudiéramos relacionar con el hilo conductor que lanzamos desde el comienzo, el cual consiste en enhebrar lo que nos lleve hacia el principio de Inercia.

Una posición opuesta a la de Aristóteles fue la de Hiparco (13) quien sostenía que los cuerpos son más pesados mientras más lejos se encuentren de su sitio natural. Consideraba, entonces, que el aumento de velocidad al acercarse a la tierra se debía a un aumento del peso del cuerpo.

Igualmente Estratón (14), quien fuera director del Liceo después de Teofrasto, señala el aumento de velocidad de un cuerpo al caer, cuando considera el fenómeno de un chorro de agua que al principio es continuo y hacia el final de su caída se separa en gotas. Aunque no deduce la razón de al comportamiento, concluye que las gotas corren las mismas distancias, al final de su trayectoria, en menos tiempo que al comienzo de ella.

12) Eso lo llevó a concebir el último motor que no es movido por otro: El motor inmóvil, cualidad de Dios.

13) Citado por Simplicio según una obra (perdida): *Acerca de los cuerpos impulsados hacia abajo por el peso*.

14) En su obra *Acerca del Movimiento*, también aparentemente perdida, y citada por Simplicio.

Las discusiones en torno al movimiento se siguieron con los atomistas para quienes todos los « átomos » serían pesados (aún los de aire y fuego). Consideraban como axioma que todos los cuerpos, al estar formados por átomos pesados, caían en el vacío con la misma velocidad y las diferentes velocidades que observamos en la vida corriente se deben a la resistencia de los distintos medios que entran en contacto con el cuerpo, el aire por ejemplo.

Los mecanicistas alejandrinos y los estoicos también trataron el asunto del movimiento admitiendo la posibilidad de la existencia del vacío; con Filón y Herón se introduce el concepto de « pesos-fuerzas » para considerar las diferentes masas de los cuerpos.

La dificultad de Aristóteles y sus continuadores, al no poder resolver la dinámica del movimiento, radica en lo que muy acertadamente dice Crombie (15). "...el defecto principal de la mecánica de Aristóteles residía en su incapacidad de tratar adecuadamente la *aceleración*, en cuanto distinta de la velocidad".

Con Juan Filopón, comentarista de Aristóteles del siglo VI, detectamos una concepción cualitativamente diferente al pensamiento aristotélico. Filopón rechaza la ley de movimiento del estagirita y considera que los cuerpos en el vacío caerían con una velocidad finita, característica de su « peso natural », es decir, su gravedad. Rechaza en consecuencia, que el medio pueda ser causa del movimiento en los proyectiles y propone que el instrumento que proyecta los objetos no imparte, al medio, poder « de moviente », como asegura Aristóteles, sino que ese poder lo adquiere el mismo cuerpo.

El medio ejerce resistencia al movimiento y nunca ayuda a su impulso (16). Aún en el vacío, considera Filopón, el poder de movimiento que adquiere el cuerpo se agota y al final debe desaparecer.

Duhem ve en Filopón un germen de la teoría mediavalista del *impetus*, sin embargo Crombie pone en duda esta continuidad completa. Aquí me parece que este último autor dice más de lo que el otro quiere

15) A.C. Crombie, *Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo 2*. Alianza Editorial Madrid 1974, p. 53.

16) Filopón asegura que el tiempo de movimiento de un cuerpo, dentro de un medio, es mayor al del vacío porque se le debe sumar un tiempo adicional producido por la resistencia del medio.

decir. El cambio cualitativo importante que considero se presenta con Filopón es el de concebir el movimiento de caída de los cuerpos ya no como un «llamado» de su sitio natural ni un «deseo» del cuerpo para dirigirse a ese lugar. Ahora es una propiedad intrínseca del cuerpo: su gravedad, lo que permite la caída. De manera semejante cuando se lanza un objeto, este adquiere una propiedad que no tenía antes y es el «impulso» dado por el agente que lo lanza. Según este análisis, sí podemos asegurar que allí está el germen de la teoría del *impetus* como se verá más adelante.

Esta teoría de Filopón fue recogida por Avicena (17) al comienzo del siglo XI. Avicena denominó al poder de movimiento, del cual hemos estado hablando, una «fuerza prestada» al objeto por el proyectil, de la misma manera como el fuego da calor al agua.

2. OLIVI, PRECURSOR

Ya hemos dicho que la influencia árabe fue determinante y decisiva para el desarrollo científico de la Edad Media y es alrededor del siglo XI cuando se produce otro jalón histórico en el pensamiento científico occidental, no sólo con las traducciones de los clásicos verdidas del árabe al latín, sino también con la crítica por ellos elaborada y los aportes conceptuales como alternativa al pensar antiguo.

Avicena recoge, pues, la teoría de Filopón, produciendo en ella varias modificaciones siempre dirigidas en última instancia a presentar, desde una perspectiva empirista, la concepción aristotélica del movimiento como la expresión auténtica del método científico. Avanza en la concepción del movimiento introduciendo un elemento nuevo e importante como es el de concebir que en el vacío, donde no hay resistencia, el movimiento «forzado» persistirá indefinidamente. Otro punto cualitativamente nuevo, puesto que perfila un rasgo importante cual es el de suponer que el proyectil adquiere una propiedad nueva al ser «forzado» o impulsado por el agente externo, lo cual tiene características conservativas, es decir, esa nueva propiedad adquirida por el proyectil permanece mientras no hay otro agente externo que la absorba o la cambie.

Avicena, al tratar de cuantificar el movimiento, suponía que la velocidad de un cuerpo era inversamente proporcional al peso; yo veo aquí

17) Avicena es el término latino de Ibn Sina. (980-1037).

una insinuación de lo que posteriormente se denominó la «cantidad de movimientos» (18) del proyectil.

El árabe español del siglo XII, Avempace (19) concibe al movimiento como una entidad distinta al mismo cuerpo movido, considerando la causa eficiente, como la «forma» que producía el movimiento. Cambia también la ley de movimiento de Aristóteles por «velocidad = fuerza — resistencia» (20).

Averroes (21) se opone a semejante concepción y arguye que no se concibe el movimiento sin un objeto que se mueva; para él el movimiento no existe fuera del objeto movido. El mundo real es el observable y concreto; la línea de abstracción; defendida por sus predecesores, sólo tiene sentido cuando se confronta con la experimentación. He aquí el punto de partida de las grandes discusiones que se sucedieron a lo largo de la Edad Media y que se prolongan quizás hasta el siglo XVIII.

A pesar de que Averroes presente esta nueva metodología, no todas sus deducciones y argumentaciones fueron correctas. Por ejemplo, para explicar la caída de un cuerpo en el aire, propone una hipótesis aerodinámica, la cual consiste en considerar que el aire inmediatamente debajo del cuerpo se calienta proporcionalmente a la velocidad. Al calentarse se hace menos denso y en consecuencia disminuye la resistencia, lo que a su vez hace aumentar la velocidad del cuerpo. El aumento de velocidad calienta más al aire, produciéndose entonces un proceso en cadena de realimentación (positiva), el cual explica la aceleración de caída. Parece que aquí no aplicó su principio de recurrir a la experimentación. Alberto Magno en el siglo XIII recoge a Averroes, posteriormente Gil de Roma hace otro tanto. Gerardo de Bruselas presenta un tratamiento cinemático del movimiento y en el siglo XIV Tomás Bradwardino propone su versión de la ley del movimiento. De aquí en adelante se desarrolla una vía cinética sobre el movimiento con aportes muy valiosos, pero fuera del propósito que nos hemos trazado en este ensayo.

18) La cantidad de movimiento es un parámetro del movimiento, con características conservativas, y definido como el producto de la masa por la velocidad.

19) Avempace o Ibn Bagda (1138).

20) $v \propto F - R$, recordemos que para Aristóteles era $v \propto F/R$.

21) Averroes o Ibn Rusd (1126-1198).

Es precisamente en la segunda mitad del siglo XIII cuando Pedro Juan Olivi, siguiendo la ya irreversible vía contraria a Aristóteles, desarrolla por primera vez (22) la teoría del *impetus* (23). Olivi propone su teoría de los « impulsos violentos o inclinaciones dados por el proyectil » para explicar el movimiento de los objetos al ser arrojados.

Explica que el proyectil suministra al objeto unas « impresiones » las cuales prevalecen en él cuando se separa del proyectil y que son las responsables de que se mantenga el movimiento.

Duce, en consecuencia, que el movimiento proviene de un agente exterior, el cual le comunica una propiedad nueva que se le mantiene, aunque el agente se separe del objeto. Es evidente que para Olivi la propiedad adquirida por el proyectil no es permanente y se presenta solamente cuando el objeto se encuentra en movimiento, por eso no podemos afirmar a esta altura que esto ya constituye el principio de Inercia.

En este punto es donde A. Maier encuentra la analogía con el concepto de cantidad de movimiento (o *momentum*) moderno, lo cual da fe de su agudeza y conocimiento de la Física puesto que aquí no se hace referencia al reposo, la otra parte que abarca el principio de Inercia (24). Sin embargo, como veremos al final, el reposo constituye un caso especial del equilibrio permitiendo de esta manera encontrar una relación estrecha y válida entre cantidad de movimiento e Inercia.

Olivi aparentemente se apoya en la teoría de Grosatesta de la « multiplicación de las especies » (25) caracterizada como neoplatónica.

3. LOS NOMINALISTAS

Con Roberto Grosatesta se establece la base metodológica que habría de tener su desarrollo explosivo en el siglo XVII, base ésta que Roger

22) Según B. Jensen, Olivi, si no fue el primero, fue uno de los primeros en desarrollar tal teoría; mientras que A. Maier no lo considera como tal.

23) El la denomina « teoría de la *inclinatio* ».

24) La cantidad de movimiento de un proyectil no existe si éste se encuentra en reposo, contrariamente a la inercia que sí existe, aún en este último estado.

25) En resumen, esta teoría sostiene el uso de las matemáticas para explicar la realidad física utilizando el comportamiento de la luz como modelo. (1168-1253).

Bacon recoge cuando afirma que (26): "las matemáticas son la puerta y la llave de las ciencias y de las cosas de este mundo y dan un conocimiento seguro de ellas" y continúa: "sólo en matemáticas... las cosas que no son conocidas y las que están en la naturaleza... son las mismas... solo en matemáticas se encuentran las demostraciones más convincentes, fundadas en las causas necesarias".

Pedro Olivi conoce de estas ideas, como ya hemos anotado en el capítulo anterior.

Antes de finalizar el siglo XIII empiezan a perfilarse tres opiniones relacionadas con la « forma » como causa física del movimiento.

Una de ellas, la de Juan Duns Escoto (1265-1308), sostenía que el movimiento era una « forma fluyente », caracterizando de esta manera la continuidad indivisible del movimiento. La segunda consideraba al movimiento como estados distinguibles donde el objeto adquiría, de instante a instante, diferentes propiedades locativas. Y la tercera definía el movimiento como relaciones en las cosas individuales.

Las opiniones de Escoto fueron continuadas por Juan Buridán (c. 1358), y Alberto de Sajonia (h. 1316-1390) y la tercera fue defendida por Guillermo de Occam (h. 1284-1349). Con esto entramos, pues, a la época que Guillermo Fraile ha caracterizado apocalípticamente como el nacimiento de un movimiento difuso, desorganizado, negativo, donde se abusó de la dialéctica y barbarizó el lenguaje, que dió al traste con "el grandioso ideal de la « Cristiandad » concebida como una agrupación de pueblos bajo la autoridad temporal del Emperador y la espiritual del Romano Pontífice" (27); éste es el « nominalismo ».

Con Occam podemos situar el nacimiento del movimiento nominalista (o terminista); este « original » pensador, contrario a las teorías de Escoto, imprimió cierto empirismo en el tratamiento del movimiento.

El *Venerabilis Inceptor* rechaza la concepción de movimiento escotista de la « cualidad impresa » en el proyectil como causante del movimiento. Con argumentos muy semejantes a los que hoy pudiéramos dar

26) A. Koyré, *Estudios de Historia del Pensamiento Científico*, siglo veintiuno editores, México 1978, p. 59.

27) G. Fraile, *Historia de la Filosofía*, BAC, 1975, p. 536.

para refutar la teoría del movimiento aristotélica, Occam arguye que no se concibe el movimiento como una realidad independiente (28) de un cuerpo que se mueve. Rechaza, entonces, las «formas» inherentes, los flujos o cualquier otra cosa distinta del objeto en movimiento. El cuerpo no tiene ni recibe nada nuevo, son existencias sucesivas y continuas del mismo cuerpo en lugares diferentes consecutivos (29).

La línea trazada por Olivi y recogida por Escoto, se recupera con Juan Buridán al considerar que una piedra, por ejemplo, recibe una cualidad (*impetus*) o energía al ser lanzada por la mano, y que mantiene el movimiento cuando esta última se separa del objeto. Nos dice Buridán (30). "...debemos concluir que un motor, imprime en él un cierto *impetus*, una cierta fuerza capaz de mover este cuerpo en la dirección en la que lo lanzó el motor, sea hacia arriba o hacia abajo, hacia un lado o en círculo (?). Cuanto más rápidamente el motor mueve al mismo cuerpo, tanto más poderoso es el *impetus* impreso en él. Es por este *impetus* por lo que la piedra es movida después de que el lanzador deja de moverla; pero, a causa de la resistencia del aire y también a causa de la gravedad de la piedra... este *impetus* se debilita continuamente... ...cuanta más materia contiene el cuerpo, más *impetus* puede recibir...".

Buridán no está de acuerdo con Occam al negar que el *impetus* pueda identificarse con el mismo movimiento.

En relación con el movimiento de los cuerpos celestes, Buridán argumenta que estos poseen un *impetus* originario, comunicado por Dios cuando creó el Universo, el cual permanece debido a la ausencia de resistencia.

La medida del *impetus* para Buridán, es el producto de la cantidad de materia multiplicada por la velocidad. (Vide *infra* p. 35). Voy a hacer un alto aquí para reflexionar sobre estos dos puntos de vista, el de Occam y el de Buridán, en los cuales subyacen dos concepciones diferentes que ni

28) Esto se enmarca dentro de la discusión fundamental de los «terministas» quienes niegan la existencia de los universales como entes de realidad objetiva.

29) Es evidente que se necesitaría del cálculo infinitesimal para resolver la ambigüedad de su aseveración. Aquí es donde Newton da el gran salto.

30) *Fit suis* *de simplicibus causis et de libris Philosophiarum*, citado por A.C. Crombie n. 68, Bibliografía No. 5.

Galileo ni Newton lograron superar, como son los conceptos independientes de Cantidad de Movimiento e Inercia (31).

La posición de Occam en el fondo no es contraria a la de Buridán sino más bien complementaria. Occam, al no separar el movimiento del objeto mismo, nos está sugiriendo que la materia posee de manera intrínseca la propiedad de moverse y si bien no nos dice explícitamente que también posee la propiedad del reposo, esto lo podemos asumir como un caso trivial de su línea de pensamiento. Para mí esto está muy cerca de la idea galileana de Inercia, la cual para este último también posee carácter intrínseco.

No existió ni para Occam, ni Galileo, ni Newton una cuantificación de este concepto el cual siempre fue atribuido como propiedad « natural » a la materia.

De otro lado, el término *impetus* de Buridán es un concepto cuantificable (cantidad de materia (32) por velocidad), el cual indiscutiblemente se refiere a nuestro concepto actual de Cantidad de Movimiento (33) (definido como masa por velocidad).

Como concepto es diferente al de Occam, para quien es intrínseco, mientras que para Buridán es adquirido del proyector. Son dos perspectivas diferentes para un mismo fenómeno, aunque no dos axiomas irreducibles como hoy se acepta generalmente.

A la posición de Buridán se unen Alberto de Sajonia (1316-1390), Marsilio de Inghen (+ 1396) y Nicolás Oresme (+ 1382).

31) En la Física actual, estos dos conceptos se consideran independientes aunque no contradictorios. La investigadora Maier no ve relación entre el concepto de *impetus* y el de Inercia, lo cual me parece correcto si queremos ser rigurosos a la luz de la teoría newtoniana.

Sin embargo una de las hipótesis que pretendo demostrar en este ensayo es que las tres leyes de Newton, así como la conservación de la cantidad de movimiento, pueden deducirse a partir de un solo axioma: La segunda Ley de Newton.

32) El concepto de cantidad de materia toma desde Newton la denominación de « masa » y con Einstein adquiere su actual concreción, pasando evidentemente durante estas épocas por un proceso de « depuración » hasta llegar a significar cosa diferente a como el común de la gente lo toma.

33) Este concepto en Galileo aparece como *impeto* o *momento*; en Descartes como *quantité de mouvement* y en Newton como *momentum*. En Leibniz sugiere a su *force vive*.

Alberto de Sajonia, utilizando el concepto de *impetus*, explica el movimiento de los proyectiles como compuesto (34) de tres períodos: el primer período es un movimiento violento donde el *impetus* neutraliza la gravedad y la trayectoria será rectilínea; el segundo período es una combinación del movimiento violento y el movimiento natural, la trayectoria es curva; y el último período es solamente movimiento natural con trayectoria rectilínea hacia abajo. Este intento de Sajonia fue recogido por Nicolás de Cusa (1408-1464) y Leonardo da Vinci (1452-1519), modificado matemáticamente por Tartaglia en el siglo XVI.

Nicolas de Oresme acepta en esencia la teoría de Buridán y aporta gran originalidad matemática, que para algunos autores, se adelantó a Descartes en la geometría analítica.

Sus ideas, que son también las de Witelo, acerca del movimiento relativo debieron ejercer fuerte influencia sobre Copernico (1473-1543) y Galileo.

4. LA INERCIA DE GALILEO

El siglo XIV termina conjuntamente con la originalidad escolástica. Las brillantes ideas y discusiones, nacidas en Oxford y París, continuaron con altibajos durante los dos siglos siguientes, no siempre en resonancia con los puntos de vista de la autoridad eclesiástica. Durante este período descollan algunas individualidades en Alemania y fundamentalmente en Italia, tales como N. Tartaglia, da Vinci y J.B. Benedetti.

Leonardo da Vinci (1452-1519), el gran «artista-ingeniero» aparentemente aceptó la teoría del *impetus* (35), pero su terminología se torna vaga y en ocasiones contradictoria. Sus trabajos en «ballística» fueron compilados y ampliados por Niccolo Tartaglia (36) (1537) quien reclama su originalidad. Sus obras (*Nova scientia* y *Quesiti et inventioni diverse*) constituyen avanzados tratados sobre ballística y trayectoria de proyectiles. A pesar de encontrarse en sus escritos descripciones de «movimientos naturales» y «movimientos violentos», no hace una mención expresa de la teoría del *impetus*.

34) Según parece esta idea se remonta hasta el astrónomo griego Hiparco del siglo II A.C., traído por Símplicio.

35) Define la *forza* (fuerza motriz) como la causa del movimiento en los cuerpos libres.

36) Nicolo Fontana de Brescia.

De otro lado Benedetti (1530-1590), discípulo de Tartaglia, superó a su maestro en el esfuerzo de matematización de la ciencia. Su obra ejerció una influencia decisiva en el joven Galileo, quien lo siguió de manera inequívoca.

Benedetti en su crítica a Aristóteles se declara partidario de la teoría del *impetus*. Define este último término como una « impresión » o cualidad que se « impregna » al móvil desde el motor. Este *habitus* que adquiere el móvil será mayor en tanto sea mayor el tiempo de contacto con el motor (37). Contrariamente a lo que defiende Tartaglia, Benedetti acepta la posibilidad de que un cuerpo tenga simultáneamente « movimiento natural » y « movimiento violento » permitiendo de esta manera encontrar la trayectoria curva de un proyectil cuando se lanza horizontalmente. Con este autor aparece el carácter rectilíneo del *impetus*, lo cual recoge Galileo en sus análisis de la Inercia.

Igualmente introdujo la idea de que todos los cuerpos del mismo material deberían caer con la misma velocidad, aunque aclara que los de distinto material (aunque posean el mismo volumen) caerán con velocidades proporcionales a sus pesos.

Galileo Galilei (1564-1642) recoge estas ideas de Benedetti y avanza en su esfuerzo por entender el libro de la naturaleza, escrito en caracteres matemáticos (38): « La Filosofía está escrita en un vasto libro que está siempre abierto ante nuestros ojos, me refiero al universo; pero no puede ser leído hasta que hayamos aprendido el lenguaje y nos hayamos familiarizado con las letras en que está escrito.

Está escrito en lenguaje matemático, y las letras son los triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las que es humanamente imposible entender una sola palabra ».

Galileo nunca formuló de manera clara, como axioma, definición o principio, su concepto de Inercia, sin embargo es evidente, dentro de todos

37) Es interesante notar que todos estos autores tenían en sus análisis varios conceptos que posteriormente han sido definidos más exactamente. Por ejemplo, este *habitus* hoy lo definimos como Impulso (= fuerza x tiempo) y que, a su vez, constituye la cantidad de movimiento del proyectil al dejar de actuar la fuerza del motor.

38) *Il Saggiatore*, cuestión 6, citado por A.C. Crombie, *Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo* 2, Alianza Universidad, Madrid 1974, p. 131.

sus análisis, que maneja con soltura este concepto. Encontramos dos sucesos claves, los cuales dieron origen a su idea de la inercia. El primero se refiere a la persistencia del movimiento de un péndulo (39), el cual cumple su oscilación en tiempos iguales. De aquí concluyó que lo que gana el péndulo en la bajada, debido a la aceleración de la gravedad, lo pierde en la subida; llegando siempre y solamente hasta la misma altura de donde partió. La persistencia de este movimiento la achaca al producto del peso por su velocidad.

A este producto lo definió como *impeto* o *momento*; recordando a Buridán, pero no refiriéndose a lo que este último entendía como causa del movimiento, sino como un efecto, o mejor, una medida del movimiento.

Aquí es donde desemboca, tal como lo hemos anunciado anteriormente, el concepto del *impetus*. Quiero llamar la atención al lector que hasta aquí Galileo en ningún momento ha utilizado la palabra inercia, lo que me lleva a concluir que este primer hecho nos conduce al concepto de cantidad de movimiento (40) y no al de inercia directamente.

El segundo suceso clave, relacionado con el anterior, se refiere al « experimento ideal » de un plano inclinado sin fricción por el que desliza una esfera, la cual adquiere en la bajada un *momento* que lo llevaría a subir hasta la misma altura en otro plano, colocado frente a ella. Si el segundo plano sin fricción es horizontal, la esfera continuará moviéndose indefinidamente, puesto que no hay ningún agente o fuerza externa que afecte su movimiento. Dice Galileo en su *Nuove Scienze* (41): "...una vez que se ha impartido a un cuerpo móvil, una velocidad cualquiera, ella será rígidamente mantenida tanto tiempo como estén suprimidas las causas externas de la aceleración o del retraso, una condición que se cumple solamente en los planos horizontales; porque en el caso de los planos inclinados hacia abajo hay ya presente una causa de la aceleración, mientras que en los planos inclinados hacia arriba hay retraso; de esto ese sigue que el movimiento en un plano horizontal es perfecto; porque si la velocidad es uniforme, ella no puede ser disminuida o debilitada, y mucho menos destruida... cualquier velocidad que un cuerpo pueda haber adquirido en una

39) La leyenda se refiere a una lámpara que vio en una iglesia, la cual oscilaba despertando en él su instinto científico.

40) Este concepto es muy importante en la Física actual porque tiene características conservativas como la energía.

41) Citado por A.C. Crombie (ibid) p. 142.

caída *natural* (42) se mantiene permanentemente por lo que respecta a su propia naturaleza... si, después de descender por un plano inclinado hacia abajo, el cuerpo es desviado a un plano inclinado hacia arriba, ya hay en este último plano una causa de retroceso...".

Galileo considera, pues, el movimiento y el reposo como estados del objeto que naturalmente trata de mantener. El *impetu* dado al objeto se conservará dándole al objeto un nuevo estado, el cual perdurará mientras no haya una fuerza que lo cambie de estado. El movimiento será en línea recta y con velocidad constante. Aquí es donde evocamos a Occam.

Correspondió a Descartes (1596-1650) explicitar el concepto de Inercia (43) aunque adelantándosele en su publicación Pierre Gassendi (1592-1655). Pero es Isaac Newton (1642-1727) quien sistematiza y sintetiza de manera extraordinaria los conocimientos de sus gigantes predecesores y da el salto cualitativo, desde aquí, para presentar su teoría de la Gravitación Universal altamente coherente que llevó a los físicos de la época a pensar que ya no había nada nuevo que decir en relación con la explicación de los fenómenos naturales: Se había mecanizado el universo.

5. LA PRIMERA LEY DE NEWTON

Newton presenta su Ley I dentro de los axiomas o leyes del movimiento que incluye al comienzo de su *tratado*, parte final de sus Principia Mathematica (44).

Reza así:

Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme, a no ser que fuerzas impresas lo obliguen a cambiar de estado.

Los proyectiles perseveran en sus movimientos si no los retarda la resistencia del aire, y la fuerza gravitatoria los impele hacia abajo. La peonza cuyas partes se separan por cohesión continuamente de los movimientos rectilíneos (45), no cesa de girar sino porque el aire la retarda.

42) Galileo aún considera la caída de los cuerpos como un « movimiento natural ». La cursiva es mía.

43) En su libro *Le Monde*.

44) *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, trad. J.D. García B., U.C.V., Caracas 1977.

45) Yo rearrregló esta frase así: "La peonza cuyas partes se separan, continuamente de los movimientos rectilíneos, por cohesión,..."

Los cuerpos mayores de planetas y cometas conservan por más tiempo, en espacios que resisten menos, sus movimientos progresivos y circulares.

Obsérvese, pues, que esta ley I contiene, ya de manera explícita, la concepción de Galileo sobre Inercia, por eso ha sido denominada la ley (o principio) de Galileo o de Inercia.

Debemos anotar también que tanto el reposo como el movimiento uniforme, es decir, el movimiento con velocidad constante, son estados del proyectil que no afectan en ningún momento su naturaleza material (46).

Yo sostengo que esta primera ley, enunciada por Newton a partir de los trabajos de Galileo no tiene relación directa (o no es consecuencia inmediata) con la teoría del *impetus* de la Edad Media.

Sin embargo dicha teoría sí está íntimamente relacionada con otro concepto dado como definición por el mismo Newton (47).

Al comienzo de sus *Principia* encontramos lo siguiente, en la Definición II (48).

Cantidad de movimiento es una medida del mismo que depende de la velocidad y de la cantidad de materia (49) conjuntamente.

Vemos aquí, entonces, extraordinaria semejanza con la definición de *impetus* dada por Buridán y aceptada por los nominalistas de la Edad Media, excepto por Occam a quien asimilamos su concepción con la primera ley de Newton.

Seguimos a Newton en su *Principia* para mostrar que él mismo no hace diferencia entre inercia e *impetu*.

46) Después de Einstein, el estado de movimiento afecta de manera fundamental la masa, aumentándola según aumenta la velocidad del cuerpo.

47) Koyré asegura rotundamente que Galileo rechazó la idea de *impetus*, pero una conclusión que sacamos de este ensayo es que no pudo ser así puesto que inclusive Newton utiliza este concepto (Vide bibliografía No. 4 p. 167).

48) Cf. 1 página anterior.

49) Antes había definido la cantidad de materia como la medida de ella, que depende de la densidad y magnitud (volumen).

Recordemos que el *impetus* medieval no incluía el reposo puesto que se refería a la causa del movimiento.

Newton incluye en su concepto de Fuerza intrínseca de la materia al *impetus* como una correlación entre resistencia (pasividad) e *imperu* (actividad). En resumen, unifica las posiciones de Occam y Buridán.

A pesar de esta unificación, parte de tres axiomas en el estudio de su Dinámica; al final trato de mostrar que se pueden reducir a uno solo.

En su definición III escribe:

Fuerza intrínseca de la materia es la potencia de resistir por lo que un cuerpo cualquiera persevera, en cuanto a él depende, en su estado de reposo, o de movimiento uniforme en dirección rectilínea.

Y aclara en su nota, inmediatamente:

Es siempre proporcional a su cuerpo, y en nada se diferencia de la inercia de la masa —fuera de la diferencia conceptual—.

De la inercia de la materia proviene el que a un cuerpo se le saque dificultosamente de su estado de reposo o de movimiento. Por lo cual además se puede llamar a la fuerza de inercia, con nombre grandemente significativo, "fuerza intrínseca". Más el cuerpo ejerce esta fuerza tan solo con mudar de estado por otra fuerza que en él se imprima, y su acto es, aunque bajo diferentes respectos, resistencia e *imperu*; es resistencia en cuanto que el cuerpo lucha para conservar su estado contra la fuerza impresa; es *imperu*, en cuanto que el mismo cuerpo, al ceder con dificultad a la fuerza del obstáculo resistente, se esfuerza en mudar su propio estado.

Vemos pues que dos conceptos que corrieron independientemente en la Edad Media y en ocasiones enfrentados como opuestos, aquí Newton insinúa su unificación.

Occam presenta su concepto como una propiedad intrínseca de la materia lo que está en perfecto acuerdo con la idea newtoniana de « fuerza intrínseca ». Buridán cuantifica su *impetus* lo que coincide perfectamente con la definición newtoniana de cantidad de movimiento.

Para Newton estas dos concepciones siguen siendo irreducibles.

APENDICE

A. ¿SON LAS TRES LEYES (AXIOMAS) DE NEWTON UNA SOLA?

Transcribo a continuación Los Axiomas o Leyes del Movimiento presentados por Newton en sus *Principia Mathematica* (50):

LEY I

Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme, a no ser que fuerzas impresas lo obliguen a cambiar tal estado.

Los proyectiles perseveran en sus movimientos si no los retarda la resistencia del aire, y la fuerza gravitatoria los impele hacia abajo.

La peonza cuyas partes se separan por cohesión continuamente de los movimientos rectilíneos, no cesa de girar sino porque el aire la retarda.

Los cuerpos mayores de planetas y cometas conservan por más tiempo, en espacios que resisten menos, sus movimientos progresivos y circulares.

LEY II

La mutación del movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se verifica según la línea recta por la que se imprime la fuerza.

Si alguna fuerza produce un movimiento cualquiera, si es ella doble producirá uno doble; si triple, uno triple; tanto que se imprima gradual y sucesivamente como simultáneamente o de una vez. Y porque este movimiento se produce en el mismo lugar de la fuerza productora, si el cuerpo se movía antes, se añade aquél a éste por coincidir, o, si es contrario, se resta; si oblicuo, se añade oblicuamente y se compone con él según la determinación de ambos.

LEY III

A una acción hay siempre una reacción contraria e igual; o sea, las acciones de dos cuerpos entre sí son siempre mutuamente iguales, y se dirigen hacia partes contrarias.

50) Vide bibliografía No. 14 p. 29.

51) Ha definido antes fuerza impresa, como la acción ejercida sobre un cuerpo para mudar su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme.

Todo lo que presiona o arrastra a otro, es presionado o arrastrado otro tanto; si uno presiona con el dedo una piedra, su dedo es presionado por la piedra. Si un caballo arrastra una piedra atada con una cuerda, es arrastrado también el caballo e igualmente por la piedra, porque la cuerda distendida entre ambos impelerá, por el mismo conato de relajarse, al caballo hacia la piedra y a la piedra hacia el caballo, e impedirá el avance de uno cuanto favorezca el avance del otro.

Si algún cuerpo, chocado con otro cuerpo, mudare de cualquier manera por su fuerza el movimiento de él, padecerá a su vez, en su movimiento propio, por las fuerzas del otro, la misma mutación hacia la parte contraria (a causa de la igualdad de la presión mutua). Son iguales con estas acciones las mutaciones no de las velocidades sino de los movimientos (a saber, en los cuerpos no impedidos por otra causa), porque las mutaciones de la velocidad, que se verifiquen a su vez hacia partes contrarias, por mudarse igualmente los movimientos, son proporcionales recíprocamente a los cuerpos.

Corolario I

Un cuerpo por composición de fuerzas, describe la diagonal del paralelogramo en el mismo tiempo en que con las fuerza s separadas describen los lados.

Para nuestro propósito tomaremos la ley II como axioma único y demostraremos que tanto la primera como la tercera están incluidas en esta segunda.

Para Newton movimiento no es la velocidad del objeto sino su concepto de cantidad de movimiento.

En la segunda ley notamos que la fuerza motriz impresa (o simplemente fuerza F) es la causante del cambio (proporcionalmente) de la cantidad de movimiento y que ese cambio se produce en la misma dirección en que se imprime la fuerza, es decir el cambio del *momentum* (p) lleva la misma dirección de la fuerza (F). El corolario es quien nos permite el carácter vectorial de la fuerza; entonces la cantidad de movimiento también será un vector (52).

52) Vector es un parámetro caracterizado por su magnitud y su dirección.

De una manera elemental podemos expresar la segunda ley como:

$$\vec{F} = \Delta \vec{p} \quad \text{A-1}$$

donde Δ se lee como cambio o mutación y la flecha arriba denota el carácter vectorial de la fuerza y del cambio del *momentum*.

Cuando en la ecuación A-1 la fuerza impresa no existe, es decir, $\vec{F} = 0$, el valor de $\Delta \vec{p}$ será entonces cero. ¿Qué quiere decir esto?

Que si el cambio del movimiento es cero significa que no existe tal cambio.

En otras palabras que el movimiento no se muta, es uniforme.

Al decir que el movimiento no cambia, y como éste tiene carácter vectorial, también estamos diciendo que la dirección tampoco cambia, es rectilíneo.

Resumiendo decimos, entonces, que el objeto no cambia su estado de movimiento (o reposo, porque este es un caso especial del primero cuando la velocidad es cero) rectilíneo uniforme cuando no existe una fuerza impresa ($\vec{F} = 0$) que lo obligue. El anterior párrafo no es otra cosa que la primera ley.

La Ley III considera las acciones entre sí de dos cuerpos. Analizaremos esto mismo desde la segunda ley. Llamaremos A y B los dos cuerpos que interactúan entre sí. Situémonos en A, quien al chocar con B recibe, según nuestra segunda ley, una fuerza F_{BA} que proviene desde B hacia A; dicha fuerza cambió el estado de movimiento de A en la misma dirección en que ella actúa, es decir:

$$\vec{F}_{BA} = \Delta \vec{p}_A \quad \text{A-2}$$

Situándonos en B y haciendo el mismo análisis anterior, tenemos que A ejerce una fuerza sobre B, así:

$$\vec{F}_{AB} = \Delta \vec{p}_B \quad \text{A-3}$$

Como no existen fuerzas impresas exteriores al sistema AB (formado por los dos cuerpos), entonces no debe existir cambio en el movimiento total del sistema AB. Es decir, la fuerza externa a A y B será $\vec{F}_{\text{ext}} = 0$

y el cambio en el movimiento (53) total también será cero $\vec{(\Delta p_T = 0)}$.
Según esto podemos escribir que:

$$\vec{\Delta p_T} = \vec{\Delta p_A} + \vec{\Delta p_B} = 0 \quad \text{A-4}$$

Lo que nos lleva inmediatamente a:

$$\vec{F_{AB}} = -\vec{F_{BA}} \quad \text{A-5}$$

reemplazando A-2 y A-3 en A-4.

La ecuación A-5 se lee como la fuerza que ejerce A sobre B es igual y de sentido contrario a la fuerza que ejerce B sobre A. Lo que constituye la tercera ley.

Hemos utilizado solamente, en las argumentaciones, la segunda ley. Esto puede mostrarse también de una manera rigurosa utilizando el formalismo del cálculo infinitesimal ; lo que trae a su vez la demostración de la conservación de la cantidad de movimiento en sistemas aislados.

Podemos concluir además que la conservación de la cantidad de movimiento está íntimamente relacionado con el principio de Inercia, es más, creo que si queremos cuantificar la inercia la definiremos como la cantidad de movimiento. Lo anterior para mostrar que no hay una analogía falsa entre estos dos conceptos como lo asegura la señora Maier (*Vide Supra p. 10*).

53) Recordamos aquí que para Newton el movimiento es cantidad de movimiento.

BIBLIOGRAFIA

1. G. Fraile, *Historia de la Filosofía*, Vol. II (2o), Biblioteca de Autores cristianos, Madrid, 1975.
2. H. Butterfield, *The Origins of Modern Science*, the free press, Macmillan Publ's. New York 1965.
3. J. Marías, *Historia de la Filosofía*, Biblioteca de la Revista de Occidente, Madrid 1975.
4. A. Koyré, *Estudios de Historia del pensamiento científico*, Siglo XXI Editores, México, 1978.
5. A. C. Crombie, *Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo*, 2 tomos, Alianza Editorial, Madrid 1974.
6. M.W. Wartofsky, *Introducción a la Filosofía de la Ciencia*, 2 tomos, Alianza Editorial, Madrid 1976.
7. E. Gilson, *La Filosofía en la Edad Media*, Editorial Gredos, Madrid, 1972.
8. J. Ferrater M. *Diccionario de Filosofía*, 2 tomos, Edit. Sudamericana, Buenos Aires, 1975.
9. R. Resnick, D. Halliday, *Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería*, Compañía Editorial Continental, México.
10. F.W. Sears, M.W. Zemansky, *Física*, Aguilar, Madrid.
11. M. Alonso E.J. Finn, *Física*, Vol. 1, Fondo Educativo Americano, Bogotá.
12. F. Copleston, *Historia de la Filosofía*, Vol III, Editorial Ariel, Barcelona 1975.
13. R. Mondolfo, *El Pensamiento Antiguo*, Edit. Losada, Buenos-Aires, 1964.
14. I.S. Newton, *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*, (Tr. J.D. García B.) Universidad Central de Venezuela, Caracas 1978.
15. A. Einstein, *La Relatividad*, Editorial Grijalbo (Colección Diana), México, 1970.
16. A. Noyola, *Antología de Física*, lecturas universitarias UNAM, México 1971.