

Evolución histórica del concepto cantidad de movimiento



J. M. Rivera-Juárez, Y. Rivera-Vargas y E. Cabrera-Muruato
Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México

E-mail: jmriviera@fisica.uaz.edu.mx

(Recibido el 6 de enero de 2019, aceptado el 30 de mayo de 2019)

Resumen

Desde la antigüedad las personas han tratado de comprender la naturaleza y los fenómenos que en ella se observan: el paso de las estaciones, el movimiento de los cuerpos y de los astros entre otros. Las primeras explicaciones se basaron en consideraciones filosóficas, sin realizar verificaciones experimentales. A lo largo del desarrollo histórico de los conceptos físicos, la mecánica y dinámica del movimiento de los cuerpos se estudió con base en los conceptos de inercia, masa, velocidad y cantidad de movimiento entre otros conceptos. Una vez establecido el significado de los conceptos físicos velocidad y masa, se definió el concepto de cantidad de movimiento, que también fue conocido como momentum y que viene del desarrollo histórico del concepto ímpetu.

Palabras clave: Historia de la ciencia, cantidad de movimiento, física.

Abstract

Since ancient times, people have tried to comprehend nature and the various phenomena observed therein: the passing of seasons, the movements of earthly and celestial bodies among others. The first explanations were based on philosophical considerations without the need for experimental verification. Throughout the historic development of physical concepts, the rules of mechanics and dynamics of the movements of bodies were studied on the basis of the concepts of inertia, mass, velocity and quantity of movement among others. Once the meaning of the physical concepts of velocity and mass was established, the concept of quantity of movement, also known as momentum, was developed and derived through the historic development of the concept of impetus.

Keywords: History of science, quantity of movement, Physics.

PACS: 01.65.+g, 01.40.-d,

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

La manera de explicar el movimiento fue cambiando a lo largo de la historia, junto con la forma de interpretar otros fenómenos de la naturaleza.

Las tesis de Aristóteles determinaron durante siglos la forma de ver el mundo. A tal punto que, a mediados del siglo XVI, por ejemplo, resultaba inaceptable pensar que la Tierra se movía y que el Sol no giraba alrededor de ella. El atrevimiento de Copérnico con su teoría heliocéntrica, refutando la concepción vigente hasta ese momento, sentó las bases para que Galileo y otros científicos desarrollaran sus ideas.

Desde la antigüedad las personas han tratado de comprender la naturaleza y los fenómenos que en ella se observan: el paso de las estaciones, el movimiento de los cuerpos y de los astros entre otros.

Las primeras explicaciones se basaron en consideraciones filosóficas y sin realizar verificaciones experimentales. Los griegos destacaron en el campo de la Física especulativa, a la experimentación no le dieron la importancia que correspondía, pues estimaban que la

actividad física era indigna de hombres libres, y sólo propia de esclavos. Por tal motivo, algunas interpretaciones “falsas”, como la realizada por Ptolomeo: “La Tierra está en el centro del Universo y alrededor de ella giran los astros”, perduró cientos de años.

En la historia figuran grandes científicos como Galileo, Newton o Einstein –entre otros–, cuyas contribuciones resultaron decisivas para el desarrollo de la ciencia en general, y de la física en particular, pero también existió un número muy grande de científicos no renombrados, y en muchos de los casos, son ahora desconocidos.

El desarrollo histórico de la física muestra que, su progreso no es resultado de la genialidad aislada que cambió el curso de la ciencia. Hay diversos ejemplos que confirman que la evolución de las ideas de la física, y la aparición de nuevas teorías, no es una sucesión de obras debidas a genios, pasando por alto el papel de la colectividad en su proceso.

Los conceptos y teorías científicas no emergieron como un milagro, son el resultado de un proceso muy difícil de resolución de problemas y de contrastación rigurosa de hipótesis [1]. Lo que implicó el abandono de concepciones, ejerciendo un notable esfuerzo de penetración científica.

Al igual que los conceptos de gravedad, fuerza e inercia, entre otros, el concepto de cantidad de movimiento, también transitó por las diferentes etapas del desarrollo histórico de la física. Se revisará la construcción histórica del concepto desde la Edad Media, hasta llegar a las aportaciones de personajes como: Galileo, Descartes y Newton.

Recientemente existe el consenso de que la comprensión de conceptos y teorías físicas exigen conocer no solo las definiciones actuales, sino también el contexto de indagación donde se construyeron y desarrollaron [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

La estructura de la ciencia, la naturaleza de la metodología científica y la validación de los juicios de los científicos son algunos de los aspectos en los que, la historia y la filosofía de la ciencia en general, y de la física en particular, pueden representar un componente de alta motivación en el binomio aprendizaje–enseñanza de las ciencias.

Para diversos autores [9] es importante hacer un paralelismo entre las ideas históricas de cantidad de movimiento y las correspondientes ideas de los alumnos, pues ello puede arrojar luz sobre diversos obstáculos epistemológicos, en el aprendizaje de la mecánica clásica.

En la parte correspondiente a la enseñanza se estima que, conocer el desarrollo de las ideas que dieron lugar al modelo científico actual, puede aportar información importante, para el diseño de las unidades didácticas correspondientes [10].

II. JUAN BURIDAN (EDAD MEDIA)

Juan Buridan creó la teoría dinámica más influyente en el siglo XIV. La teoría del “ímpetus”, se basaba sobre los principios aristotélicos de que, todo movimiento requiere un motor, y que, la causa debe ser proporcional al efecto.

Buridan planteaba que el motor debe imprimir al móvil un cierto “ímpetus”, una fuerza motriz gracias a la cual continuará moviéndose, hasta que resultara afectado por la acción de fuerzas independientes [11].

En los proyectiles, este ímpetus se reducía progresivamente por la resistencia del aire y por la gravedad natural a caer hacia abajo. La medida del “ímpetus” de un cuerpo era su cantidad de materia multiplicada por su velocidad [12].

Ciertamente, esta medida del “ímpetus” que propone Buridan, sugiere la definición que ha de dar Galileo, de lo que él llama “ímpeto” o “momento”; así como la definición de la “cantidad de movimiento” de Descartes, e incluso el momento de Newton. También existe una cierta semejanza, entre el “ímpetus” de Buridan y la “fuerza viva” o energía cinética de Leibniz [13].

III. GALILEO GALILEI (RENACIMIENTO)

Considérese que en la obra de Galileo hay tres épocas que caracterizan tres orientaciones distintas, de diferente significado, importancia y temporalidad: 1) Periodo Aristotélico; 2) Periodo de aceptación de la Teoría del ímpetus y 3) Periodo de Madurez).

Una vez que Galileo llega a una ciencia matemática al estilo de Arquímedes (periodo de madurez), ¿qué entiende Galileo por fuerza?

Para referirse al concepto fuerza utiliza varios sinónimos: fuerza, potencia, virtud, impulso, tendencia, energía, [14].

De ellos, los más utilizados son *ímpeto* y *momento*. El término “ímpetus” (que en la física parisiense era entendido como causa del movimiento que anima al móvil), se transforma en momento, es decir, producto de la velocidad por la masa, lo que es igual a la cantidad de movimiento.

¿Qué es entonces el *momento*? La noción de *momento* que formula Galileo, en el curso de mecánica que imparte en Padua, aparece en el “Discurso sobre hidrostática” [15], publicado en Florencia en 1612, en el sentido de producto de la fuerza por la velocidad.

“Para los mecánicos, momento significa esta virtud, esta noción, esta potencia eficaz, por la cual, el motor mueve y el móvil resiste. Esta virtud no depende solamente de la simple gravedad, sino de la velocidad del movimiento, de las inclinaciones diversas de los espacios recorridos. Un grave efecto produce un ímpeto más grande cuando desciende sobre una superficie muy inclinada, que cuando desciende sobre una superficie que es menor; cualquiera que sea, en suma, la razón de una tal virtud, lleva siempre el nombre de momento” [16].

Galileo confiere al término momento (utilizado ya por Aristóteles, Herón) un sentido mecánico preciso en relación con la idea de gravedad.

La “gravita” es la tendencia interna de los cuerpos a descender. Sin embargo, ésta no siempre actúa libremente con toda su eficacia, sino que se ve modificada por diversos factores. El resultado de modificar la tendencia natural al descenso (en el caso de la “gravita”) es lo que constituye el momento.

“El término que Galileo usa con frecuencia en sus propios escritos, para indicar la acción de una fuerza, es el de “momento”. La concepción galileana de este término es bastante complicada, por el hecho de que se trata del paso de un concepto originariamente estático, a una idea de tipo dinámico” [17].

Galileo utiliza el término *momento* en el sentido de un concepto estrictamente dinámico, recordando que desde el punto de vista etimológico, momento deriva de “movimentum” (concerniente al movimiento).

Alexander Koyre con respecto al planteamiento de Galileo plantea lo siguiente:

“El ímpetus del móvil no es otra cosa, sino el impulso dinámico que le confiere la gravedad; no es ya en modo alguno, la causa interna que produce el movimiento en la física parisiense. Es lo mismo que su momento, o sea, el producto de su peso por su velocidad. En el móvil, llegando al término de su descenso, es la energía total o el ímpetus total; en el móvil que comienza su lanzamiento, es el producto de su peso por la velocidad inicial, en otras palabras, la diferencia de velocidad...” [18].

IV. GALILEANOS

En este apartado se abordará la forma en que los seguidores de Galileo recogieron y trataron el concepto de cantidad de movimiento.

A. Bonaventura Cavalieri

En opinión de Koyre, para los discípulos de Galileo, las tensiones y las polémicas mantenidas por su maestro ya están superadas.

“Se nota que para Cavalieri la gran batalla galileana pertenece al pasado. Y la gran victoria galileana es hasta tal punto total que ya no se habla de ella. El gran problema filosófico: Platón o Aristóteles, matemáticas o experiencia sensible, está ya resuelto. Ni que decir tiene que la física es una matemática y que el paso del estudio –puramente geométrico– de las curvas y de las secciones cónicas, al de sus “efectos” en la realidad física se hace sin tropiezos. Apenas se insiste. Por eso, el estudio de los movimientos, movimiento de caída, movimiento del lanzamiento, se concibe, de entrada, como un estudio matemático; los cuerpos que Cavalieri pone en movimiento, son, desde ahora, cuerpos matemáticos” [19].

B. Pierre Gassendi

A Gassendi, lo que le interesa es el lado físico de los fenómenos, el mecanismo de los estudiados por Galileo. Y en este sentido, su mérito va a ser grande.

La eliminación constante de la noción de ímpetus, el contar con una teoría de la pesantez y la geometrización del espacio, le permitirán superar los titubeos de Galileo y los errores de Kepler, salvando los obstáculos que los habían detenido a ellos.

“Comprendió profundamente a Galileo; queremos decir, comprendió y puso en claro la ontología que formaba la infraestructura de la nueva ciencia; además gracias a Demócrito y, cosa curiosa, gracias a Kepler, Gassendi logró desembarazarse de los últimos obstáculos de la tradición y del sentido común, que habían trabado el avance del pensamiento galileano; y de este modo, logró la gloria imperecedera, de haber sido el primero en publicar –si no el primero en enunciar– una fórmula correcta del principio de inercia” [20].

C. René Descartes

Para Descartes, la fuerza motriz no es más que el producto de la masa y de la velocidad.

En el sistema cartesiano, la fuente última del movimiento es Dios, que en el instante de la creación le imprimió a la materia cierta cantidad de movimiento, que permanecerá constante en el universo y se transmitirá de un cuerpo a otro.

En el mundo de Descartes sólo hay un modo de comunicación entre las sustancias: el contacto. Y sólo un medio de acción: el choque.

Evolución histórica del concepto cantidad de movimiento

El problema del choque adquiere gran importancia para todos los filósofos mecanicistas, no era un problema fácil. Galileo había examinado lo que llamó “fuerza de percusión” sin notables éxitos, y reconociéndolo, había dejado sin publicar su tratamiento del asunto.

Por su parte, Descartes basó su análisis en la conservación de la cantidad de movimiento. Por cantidad de movimiento entendía el producto del tamaño del cuerpo por su velocidad, un concepto similar al de nuestra idea de momento, pero que difiere de él en la medida en que su “tamaño” no es nuestra “masa”, y en que la velocidad no es tratada como una magnitud vectorial.

Debido a la inmutabilidad de Dios, causa primera del movimiento, la cantidad total de éste debía permanecer constante en el universo.

“Se demostrará también la otra parte de esta regla, si se tiene en cuenta la inmutabilidad de la acción de Dios, conservando el mundo con la misma acción que lo creó. Pues estando todo ocupado por los cuerpos, y a pesar de que cada parte de la materia tiende a moverse en línea recta, es evidente que desde el principio, cuando Dios creó el mundo, no solamente ha movido de diverso modo sus partes, sino también, que las ha hecho de tal naturaleza que desde entonces, las unas han comenzado a empujar a las otras, y a comunicarles una cantidad de movimiento; y puesto que las conserva hoy con la misma acción y las mismas leyes que las hizo observar al crearlas, es preciso que conserve en todas ellas el movimiento primitivo, con la propiedad que ha dado a éste, de no permanecer ligado siempre a las mismas, y de pasar de las unas a las otras, según las diversas mutuas concurrencias de dichas partes” [21].

Descartes considera a los dos cuerpos en choque como una unidad, y la suma de sus movimientos idéntica, antes y después del choque.

“Galileo se había percatado de la notable idea de que, no hay nada en el movimiento de un cuerpo físico que no pueda expresarse en términos matemáticos, pero descubrió que esto sólo puede conseguirse atribuyendo a los cuerpos ciertas cualidades últimas, además de las simples geométricas, gracias a lo cual, los movimientos son susceptibles de una exacta consideración matemática. Descartes se dio cuenta de los hechos subyacentes a esta necesidad –que los cuerpos geoméricamente equivalentes se mueven de modo diferente cuando están colocados en la misma posición con respecto a los mismos cuerpos vecinos– pero al considerar el movimiento, como una concepción matemática en general, y al no alcanzar el ideal completo de su reducción exacta de un modo que pudiera compararse a su tratamiento de la extensión, no acertó a dar una salida clara a sus primeras sugerencias de que el peso y la velocidad son dimensiones” [22].

Masa y peso se confunden, y corresponderá a Newton el mérito de su distinción.

El carácter escalar y no vectorial de la velocidad será uno de los grandes errores cartesianos, para cuya enmienda será necesario, acudir de nuevo a los conceptos galileanos de fuerza, momento, aceleración, entre otros.

V. CARTESIANOS

En este apartado abordaremos la forma en que los seguidores de Descartes recogieron y trataron el concepto de cantidad de movimiento. Son muchos los científicos que se pueden agrupar bajo el título de “cartesianos”, por lo que será necesario prescindir de algunos de ellos, así como de muchos detalles relacionados con los que consideraremos en nuestro análisis.

A. Gottfried Wilhelm Leibniz

Propuso que la fuerza era la relación entre la masa del cuerpo y su velocidad, con esto descubre el principio de continuidad donde explica la proporcionalidad causa-efecto.

Respecto al choque, cualquier cambio de masa en alguno de los cuerpos produce un cambio, en el comportamiento de los cuerpos después del choque.

De acuerdo con los hechos experimentales, la cantidad de movimiento no se presenta en forma absoluta, sino en forma relativa.

B. Nicolás Melebranche

En Nicolás Melebranche, con respecto al choque, encontramos la siguiente interpretación:

“La fuerza motriz de un cuerpo no es entonces, más que la eficacia de la voluntad de Dios que lo conserva sucesivamente en diferentes lugares. Supuesto esto, concibamos que esta bola sea movida, y que, en la línea de su movimiento, encuentra a otra bola en reposo: la experiencia nos enseña que esta otra será indefectiblemente movida, y según ciertas proporciones, siempre exactamente observadas. Ahora bien, no es la primera la que mueve a la segunda. Esto es claro por el principio; pues un cuerpo no puede mover a otro sin comunicarle fuerza motriz. Ahora bien, la fuerza motriz de un cuerpo movido, no es sino la voluntad del Creador; que lo conserva sucesivamente en diferentes lugares; no es una cualidad que pertenezca a este cuerpo, nada le pertenece más que sus modalidades, y las modalidades son inseparables de las sustancias. Luego, los cuerpos no pueden moverse los unos a los otros, y su encuentro o choque, es solamente una causa ocasional de la distribución de su movimiento” [23].

Como se observa en la cita anterior, el reconocimiento a la acción de causas naturales aisladas e independientes, equivale para Melebranche, en limitar o negar el poder infinito de Dios.

El principio general que rige la comunicación del movimiento, es el de la conservación de la cantidad de movimiento, en sentido absoluto. Este principio se sigue de la inmutabilidad divina, según lo cual, lo que Dios quiere en un instante, lo quiere para siempre.

De este principio, se siguen varias reglas de la naturaleza.

Estas leyes de la comunicación del movimiento fueron criticadas por Leibniz, con el argumento de que, el principio cartesiano de la conservación de la cantidad de movimiento,

atentaba contra el principio de continuidad, según el cual, cambios pequeños en las causas producen cambios pequeños en los efectos.

Como lo señala Mouy, el ocasionalismo es una interpretación cristiana y mística, del principio de inercia [24], ya que las razones principales para la afirmación de estas tesis, se hallan extraídas del principio de inercia.

Está claro, como lo señala Koyre [25], que Melebranche no entiende correctamente el principio de inercia.

C. Cristian Huygens

Cristian Huygens fue educado como cartesiano, aunque no llegó a ser un discípulo sumiso.

“En todo sentido debe considerarse a Huygens como un sucesor de Galileo de igual calidad que este. Quizá fuera menos dotado filosóficamente que Galileo, pero en cambio lo supero en talento geométrico. No sólo Huygens prosiguió las investigaciones comenzadas por Galileo, sino que resolvió los primeros problemas de la dinámica de sistemas de masas, mientras Galileo se había limitado simplemente a la dinámica de un solo cuerpo” [26].

No hay duda de que Huygens está influenciado por Marcus Marci de Kronland, a pesar de ser muy confusa y abstracta la manera en que deduce la impulsión, debida al choque.

Marci tiene el mérito de inscribirse contra el tratamiento puramente geométrico del problema, e introduce la noción de masa y de la relación entre masas con elementos característicos, susceptibles de permitir una elaboración teórica [27].

Huygens trata el choque elástico, a partir del principio de inercia, de un principio de relatividad, y del postulado según el cual, dos cuerpos iguales con la misma velocidad y que chocan directamente, rebotan cada uno de ellos con la velocidad que poseían.

Mariotte trata nuevamente, el choque de dos cuerpos desiguales en su *“Traité de la percussion on choc des corps”* publicado en 1693. Aunque no presenta innovaciones respecto a los trabajos anteriores, se distingue de ellos por su mayor tendencia experimental.

El mérito de Mariotte es subrayar que lo que interviene en la magnitud de la cantidad de movimiento –y por tanto en el choque–, no es el peso, sino la cantidad de material del cuerpo [28].

Huygens presentó cinco reglas sobre la comunicación de la cantidad de movimiento, que coincidían perfectamente bien con la experimentación.

La primera se refería al principio de inercia; la segunda al choque de dos cuerpos de igual masa, que se mueven con igual velocidad, en la misma dirección en sentido contrario; la tercera se refiere a la relatividad del movimiento, la cual dice que el movimiento de los cuerpos, con velocidades iguales o desiguales, se deben tomar relativamente a otros cuerpos que se encuentran en reposo; la cuarta se refiere al impacto de un cuerpo mayor sobre un menor en reposo; y la última, se refiere a la conservación de la cantidad de

movimiento en el choque de dos cuerpos, que se mueven en la misma dirección en sentido contrario.

Wallis, Wren y Huygens, establecieron las reglas de la comunicación del movimiento para cuerpos elásticos e inelásticos y contribuyeron al desarrollo del concepto de momentum lineal que se formalizó posteriormente.

V. ISAAC NEWTON

“No es propio de los mortales acercarse tanto a los dioses” [29].

Así termina el elogio de Edmund Halley en el prefacio de los “Principios Matemáticos”.

Koyre está convencido [30] de que todas las leyes del movimiento, incluso la tercera, aunque se refiere a la igualdad entre la acción y la reacción, están sacadas de la concepción cartesiana de la transmisión del movimiento de un cuerpo a otro, de manera que, un cuerpo no puede dar o comunicar movimiento, más que perdiéndolo él.

Por otra parte, Newton niega la conservación del movimiento, tal como Descartes la establece. En la cuestión 31 de la Óptica se denuncia claramente el error cartesiano al contar aritméticamente las cantidades de movimiento, es decir, considera las velocidades como escalares [31].

De acuerdo con Newton [32], “La cantidad de movimiento es la medida del mismo, surgida de la velocidad y la cantidad de materia conjuntamente”. Una definición fundamentalmente matemática.

Newton propuso una conceptualización física, que permite entender el significado de la definición anterior.

Considera un objeto en movimiento como un conglomerado de pequeñas partículas, cada una de las cuales macroscópicamente tiene la misma velocidad del objeto, de tal manera que, el movimiento del todo, es la suma del movimiento de sus partes constitutivas, y ello se sintetiza matemáticamente, en el producto “ mv ”.

A partir del concepto de cantidad de movimiento, se enuncia uno de los principios más importantes de la física: el principio de conservación de la cantidad de movimiento.

V. COMENTARIOS FINALES

No hay duda de la importancia histórica del concepto cantidad de movimiento, en el desarrollo de la mecánica clásica, desde su formulación por Buridan. La medida del “impetus” que el propone, inspira la definición que ha de dar Galileo, de lo que él llama “impeto” o “momento”, así como la definición de la “cantidad de movimiento” de Descartes, e incluso el momento de Newton.

Este desarrollo posibilita que profesores y alumnos tomen conciencia y exploren las semejanzas entre los conceptos alternativos de estos autores, y las visiones que fueron históricamente construidas y superadas.

Consideramos que, la incorporación de esta historia en los materiales curriculares, podría llevar a los profesores a prestar más atención a los conceptos alternativos de sus alumnos.

Evolución histórica del concepto cantidad de movimiento

Podría también ayudar a los alumnos a que vean el valor de sus ideas, mostrando al mismo tiempo, como nociones semejantes evolucionaron en el curso de la historia, colaborando así a reconstruir sus conceptos.

REFERENCIAS

- [1] Nersseian, N. J., *Should Physicists preach what they practice?* Constructive modeling in doing and learning physics, *Science Education* **4**, 203-226 (1995).
- [2] Acevedo-Díaz, J. A., Vázquez-Alonso, A. Manassero-Mas, M. A. & Acevedo-Romero, P., *Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: Aspectos epistemológicos*, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* **4**, 202-225 (2007).
- [3] Cleminson, A., *Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science*, *Journal in Science Teaching* **27**, 429-445 (1990).
- [4] Duschl, R. A., In: *Improving science education. The contribution of research*, (Open University Press, Buckingham, 2000).
- [5] Matthews, M. R., *Science Teaching: The role of history and philosophy of science*, (Routledge, New York, 1994).
- [6] McComas, W. F., Clough, M. P. & Almazora, H., *The nature of science in science education*, (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000).
- [7] Rudge, D. & Home, E., *Incorporating history into the science classroom*, *The Science Teacher* **71**, 52-57 (2004).
- [8] Wandersee, J. H., *The historicity of cognition: Implications for science education research*, *Journal of Research in Science Teaching* **29**, 423-434 (1992).
- [9] Solano I., Jiménez E. & Marín E., *Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de “lo que el alumno no sabe” sobre fuerza*, *Enseñanza de las Ciencias* **18**, 309-328 (2000).
- [10] Duschl, R. A., *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, (McMillan Pub., New York, 1994).
- [11] Duhem, P., *Le système du monde Tomo II*, (Hermann, París, 1995), p. 285.
- [12] *Ibidem*, pp. 214-215.
- [13] Koyre, P., *Estudios de historia del pensamiento científico*, (S. XXI, México, 2000).
- [14] Galilei, G., *Opere, Discorsi e dimostrazione matematiche in torno a due move scienze. Tomo VIII*, (Edición Nacional, Florencia, 1909), p. 215.
- [15] Galilei, G., *Opere. Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono. Tomo IV*, (Edición Nacional, Florencia, 1909), pp. 63 - 141.
- [16] *Ibidem*, p. 68.
- [17] Jammer, M., *Storia del concetto di forza*, (Ed. Feltrinelli, Milano, 1779), p. 111.
- [18] Koyre, A., *Estudios galileanos*, (Siglo XX, Madrid, 1980), p. 243.
- [19] *Ibidem*, págs. 280.
- [20] *Ibidem*, págs. 292.

J. M. Rivera-Juárez et al.

- [21] Descartes, R., Oeuvres, C. A. y Tannery, P., *Discours de la methode. Tomo II*, (Ed. Vrin, París, 1965).
- [22] Burt, E. A., *Fundamentos metafísicos de la ciencia moderna*, (Subamericana, Buenos Aires, 1960), p. 123.
- [23] Melebranche, N., De la recherche de la verite, (Vrin, París, 1972), *Entretiens sur la Métaphysique et sur la religion*, Tomo XII, VII, X, pp. 161-162.
- [24] Mouy, R., *Les lois du choc des corps d'après Melebranche*, (Vrin, París, 1972), p. 32.
- [25] Koyre, A., *Etudes newtoniennes*, (Gallimard y Hermann, París, 1965), p. 102.
- [26] Mach, E., *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*, (Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1949), p. 133.

- [27] Tatom, R., *Historia general de las ciencias*, Ed. Destino, Barcelona, 1972, Tomo II, pág. 300.
- [28] Dugas, R., *La mécanique au XVII siècle*, (Vrin, París, 1954), p. 289.
- [29] Newton, I., *Opera quae exstant omnia. Tomo II*, (Von Samuel Horsley, London, 1785), (Friedrich Frommann Verlag, Stuttgart-Bad Cannstatt, 1964), p. 8.
- [30] Koyre, A., *Etudes newtoniennes*, (Gallimard y Hermann, París, 1965), pp. 94 y 103.
- [31] Newton, I., *Opera quae exstant omnia, Tomo IV. Optics*, (Von Samuel Horsley, London, 1785), (Friedrich Frommann Verlag, Stuttgart-Bad Cannstatt, 1964), p. 258.
- [32] Newton, I., *Principios matemáticos de la filosofía natural*, (Altaya, Barcelona, 1994), p. 35.