

Evolución histórica del concepto fuerza centrípeta

EDVATIO PHYSICORVM



J. M. Rivera-Juárez¹, E. Cabrera-Muruato², Y. Rivera-Vargas³

L. J. Flores-Olague¹

¹Unidad Académica de Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia, Universidad Autónoma de Zacatecas, Campus UAZ Siglo XXI, Zacatecas, México.

²Unidad Académica Preparatoria, UAZ.

³Centro de Aprendizaje y Servicios Estudiantiles, UAZ.

E-mail: jmriviera@uaz.edu.mx

(Recibido el 5 de diciembre de 2019, aceptado el 26 de febrero de 2020)

Resumen

En este trabajo analizamos la evolución histórica de la Fuerza Centrípeta, desde mediados del siglo XVII, cuando se aceptaba (de manera muy general) la existencia de una fuerza central directa del Sol a los planetas, propiciando la pregunta: ¿por qué no caen los planetas sobre el Sol? Hasta los trabajos de Cristian Huygens e Isaac Newton quienes aportaron de manera definitiva a su formulación.

Palabras clave: Historia de la Ciencia, Fuerza, Física.

Abstract

In this work we analyze the historical evolution of the Centripetal Force, since the mid-seventeenth century, when the existence of a direct central force from the Sun to the planets was accepted (very generally), propitiating the question: why don't the planets over the sun? Until the works of Cristian Huygens and Isaac Newton who contributed definitively to its formulation.

Keywords: History of Science, Force, Physics.

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

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

El concepto de fuerza (y aceleración) centrípeta ha jugado históricamente un papel crucial en el establecimiento de lo que se ha dado en llamar Mecánica Clásica. Newton atribuye a la fuerza centrípeta mayor importancia que a toda otra fuerza. Se apoya en ella para diseñar una estrategia encaminada a descubrir la ley de variación, con la distancia al Sol, de la fuerza central que retenía a los planetas en su órbita. Destacando el papel de la fuerza centrípeta como elemento dinamizador de la síntesis newtoniana.

Pero antes la humanidad hubo de vencer grandes dificultades intelectuales. En cierta forma el progreso de la ciencia está delimitado por las posibilidades intelectuales de los individuos que se ocupan de ella.

II. GIOVANNI ALFONSO BORELLI

Durante la primera mitad del siglo XVII muchos astrónomos aceptaron la hipótesis de Kepler acerca de la fuerza rotacional de naturaleza magnética. A la mitad del siglo se aceptaba en general la existencia de alguna fuerza de tipo central directa del Sol a los planetas, pero surgía de inmediato un problema; ¿por qué no caían los planetas sobre el Sol?

Entre otras propuestas de solución Giovanni Alfonso Borelli concibió la órbita planetaria como una posición de equilibrio entre fuerzas opuestas. En de "Theoricæ Mediceorum

Planetarius ex causis physicis deductæ" [1], basada en las observaciones durante varios años de Júpiter, Borelli habla en términos no muy claros, de ligamentos materiales que conectan el planeta a su curso centra, de corrientes etéreas que transportan el planeta en torno al Sol, y de una tendencia natural de los planetas a acercarse a éste, contrastada con una cierta tendencia de los planetas a dejar la circunferencia del sistema planetario. Los ligamentos materiales que conectan al planeta con el Sol vienen descritos como si se tratase de fuerzas magnéticas de intensidad constante.

Borelli no pudo demostrar que la órbita planetaria que resultaba tuviera forma de elipse. Al no disponer del conocimiento matemático necesarios para ello, sus aportaciones tuvieron un carácter cualitativo.

Sin embargo, su trabajo sobre los satélites de Júpiter contribuyó de manera decisiva al abandono de la fuerza magnética rotacional como causa del movimiento de los planetas, y dejó las bases para la futura teoría gravitacional. Sin llegar aún a la formulación del impulso centrífugo como función de la velocidad orbital [2].

III. CHRISTIAN HUYGENS

Rene Dugas entre otras cosas, con respecto a Christian Huygens plantea lo siguiente: "Galileo no había tratado más que del problema de la caída de los graves y del movimiento de proyectiles en el vacío; había dejado sin solucionar el

problema del choque, profesando sobre la fuerza centrípeta una tesis imperfecta, y no había podido abordar la dinámica de sistemas. En todos estos dominios Huygens lo sobrepasa: él trata el primero de forma precisa, el movimiento en un medio resistente, dando la primera teoría del choque elástico, establece las leyes precisas de la fuerza centrífuga, descubre las condiciones matemáticas del isocronismo de oscilaciones limitadas del péndulo simple y trata enteramente el problema del péndulo compuesto. Sus principios son siempre firmes y simples, su geometría impecable, su método riguroso. Se puede hablar por primera vez con Huygens de una ciencia mecánica sólida sin residuo escolástico” [3].

Sin duda el descubrimiento más importante de Huygens son sus leyes de la fuerza centrípeta. Al parecer inicia esta investigación como resultado de las lecturas que realiza de Galileo y Descartes y del deseo de construir un reloj con péndulo cónico.

En 1673 Huygens publica “Horologium oscillatorium” en el que aparece el enunciado, sin demostración de trece proposiciones sobre la fuerza centrípeta. Sin embargo, desde 1659 ya había redactado un tratado “De vi centrifuga”, que fue publicado hasta 1703.

Para estudiar la tendencia (Conatus) centrífuga de un cuerpo atado a una rueda que gira, Huygens recurrió a un sistema de referencia móvil unido a una cuerda.

Consideraciones estrictamente geométricas le muestran que el cuerpo, suponiéndolo liberado en un punto A de la rueda (y escapando, por la tangente) describe, al principio de ese movimiento, y en relación con el punto A (que gira con la rueda), espacios que aumentan con los cuadrados de los enteros sucesivos 1, 4, 9, 16. El conatus de un cuerpo atado a una rueda que gira, es entonces, el mismo que si ese cuerpo tendiera a avanzar según el radio de un movimiento uniformemente acelerado. De aquí se desprenden las leyes cuantitativas de la *vis centrípeta*, la cual, considerada en el sistema de referencia que gira, es para Huygens una fuerza tan real como la de la gravedad [4].

Demostró igualmente que si un cuerpo se mueve en un círculo dado con una velocidad igual a la que requeriría si cayese partiendo del reposo a lo largo de una distancia de la mitad del radio, su fuerza centrípeta es exactamente igual a su peso. Mediante una simple sustitución en la fórmula, relacionando velocidad y distancia en un movimiento uniformemente acelerado, se obtiene la fórmula de la fuerza centrífuga, que es la misma que usamos hoy en día.

$$F = \frac{mv^2}{r}. \quad (1)$$

Logró así Huygens una expresión cuantitativa del esfuerzo de un cuerpo para alejarse del centro [5]. Acuñó para tal esfuerzo el nombre de “Fuerza Centrífuga”, literalmente, “fuerza que huye del centro”. Es interesante resaltar el empleo de la palabra “fuerza”, pues la solución dada al problema del choque había excluido deliberadamente consideraciones dinámicas. Utiliza la palabra fuerza en tal contexto porque consideraba que era similar al peso estático, y el empleo del término “fuerza” sólo era aceptado plenamente en estática.

Huygens aceptó el movimiento circular como dado, y considera la fuerza centrífuga tal como considera el peso, no

como una fuerza que actúa sobre un cuerpo, sino como una tendencia que el cuerpo tiene, por la razón que sea, en una situación concreta.

IV. ISAAC NEWTON

Isaac Newton considera suficientemente conocido y aceptado el estudio del choque, por lo que considera que no requiere más aclaraciones. Pero si se detiene ampliamente en el análisis de la fuerza centrípeta.

“La fuerza centrípeta, –Definición V–, es aquella por la cual dos cuerpos son arrastrados o impelidos, o tienden de cualquier modo hacia un punto como hacia un centro”.

“De este tipo es la gravedad, por cuya medición los cuerpos tienden hacia el centro de la Tierra, como también la fuerza magnética que atrae el hierro al imán, y esa fuerza – sea la que fuese– en cuya virtud los planetas son continuamente apartados de los movimientos rectilíneos que de otra forma seguirían, y obligados a girar en órbitas curvas. Una piedra que da vueltas en una honda se esfuerza por alejarse de la mano que la hace girar, y por ese esfuerzo distiende la honda tanto más cuanto que con mayor velocidad gira, y sale volando tan pronto como es liberada.

Lamo fuerza centrípeta a aquella que se opone a ese esfuerzo, y mediante la cual la honda atrae continuamente, la piedra hacia la mano y la retiene en su órbita, porque se dirige hacia la mano como hacia el centro de la órbita. Y lo mismo debe entenderse de todos los cuerpos que giran en órbitas. Todos intentan alejarse de los centros de sus órbitas, y de no ser por la oposición de una fuerza contraria que lo impide manteniéndolos en sus órbitas, y que por eso llamo centrípeta, partirían con líneas rectas con un movimiento uniforme. Si no fuese por la gravedad, un proyectil no se desviaría hacia la Tierra (y) la Luna no podría ser mantenida en su órbita. Si tal fuerza fuese demasiado pequeña, no bastaría para apartar a la Luna de un curso rectilíneo; si fuese demasiado grande sacaría a la Luna de su órbita, haciéndola caer sobre la Tierra. Es necesario que la fuerza tenga una magnitud justa, y pertenece a las matemáticas descubrir la fuerza capaz de servir exactamente para retener a un cuerpo en una órbita dada a una velocidad dada; “y, a la inversa, descubrir la curva que por efecto de una fuerza dada describirá un cuerpo proyectado desde un lugar dado con una velocidad dada también” [6].

Es por demás evidente la importancia que da Newton a este tipo de fuerza. Trabajo sobre la teoría de la aceleración centrípeta durante los años de mayor actividad creativa para él (1665 – 1666), aunque no publicó nada al respecto hasta 1687, catorce años después de que lo hiciera Huygens.

¿Cuál es la magnitud de la aceleración centrípeta? ¿En qué medida depende de la velocidad de rotación y del tamaño de la órbita circular? Se sabe que la respuesta a estos planteamientos fue crucial para la teoría del sistema solar de Newton, y fue una etapa necesaria en la determinación de la ley de la gravitación. En las tres definiciones siguientes Newton precisa algunos aspectos cuantitativos particulares de la fuerza centrípeta.

X. COMENTARIOS FINALES

Definición VI. “La cantidad absoluta de una fuerza centrípeta es una medida proporcional a la eficacia de la causa que la propaga desde el centro por las regiones circundantes”.

Definición VII. “La cantidad acelerativa de una fuerza centrípeta es una medida proporcional a la velocidad que genera en un tiempo dado” [6].

Definición VIII. “La cantidad motriz de una fuerza centrípeta es una medida proporcional al movimiento que genera en un tiempo dado” [6].

El resultado de la magnitud de la aceleración centrípeta es muy simple.

$$a = \frac{v^2}{r}. \quad (2)$$

Esto permitirá más adelante que Newton establezca la ley de la Gravitación Universal. De cualquier forma, es más que evidente que Newton atribuye a la fuerza centrípeta mayor importancia que a toda otra fuerza.

Las discusiones en torno a la naturaleza y funcionamiento de la atracción gravitacional constituyen, una de las cuestiones centrales sobre las que gira el problema de la fuerza durante los siglos XVII y XVIII.

“Fue el mayor triunfo de Newton –su concepción de la atracción o gravedad universal, se acepte o no se acepte supone una acción a distancia– lo que constituye el mayor impedimento para que el newtonianismo fuera aceptado” [7].

Al igual que Galileo, es consciente de la dificultad de decir algo sobre su naturaleza. Sin embargo, no acepta tampoco que se asimile la gravedad a las demostraciones cualitativas ocultas de los aristotélicos. La atracción para él no es una cualidad oculta, y dado que la solución mecanicista tampoco es aceptable, Newton no tiene más remedio que dejar sin respuesta la cuestión sobre la naturaleza de la atracción.

Sabido es que Newton, al igual que Galileo, ha sido y es interpretado distintamente según los criterios de los historiadores de la ciencia. Lo que se ha facilitado por una cierta ambigüedad o indecisión a la hora de definir o establecer algunos criterios o planteamientos que estos notables científicos no supieron, no pudieron o no quisieron hacer.

Newton consigue matematizar la fuerza, tanto la inercial, con la ayuda del concepto de masa, como la gravitatoria, a través del concepto de fuerza centrípeta. Se sabe, que la fuerza gravitatoria o de atracción entre los planetas era la que más problemas y dificultades planteaba.

La física newtoniana concibe la fuerza en su conjunto y la gravitación en particular al modo de un hecho irreductible de la experiencia, y no aporta información concluyente sobre la naturaleza metafísica de la fuerza y de la gravitación. En ninguno de sus escritos asume una posición definitiva ante tal problema.

Durante el proceso histórico de construcción de las teorías científicas, las etapas recorridas hasta la adquisición de una formulación fértil del concepto de fuerza centrípeta, suministran un esquema de los posibles obstáculos que hubo que superar para lograr una verdadera asimilación del mismo.

Todo supone que dicho proceso se inicia con los filósofos griegos en una primera interpretación de los movimientos celestes. Durante la civilización griega se postularon distintos modelos astronómicos, destacando el de Aristarco, Aristóteles y Ptolomeo. Posteriormente aparecen las innovaciones de Copérnico, para quien el “centro” del movimiento radicaba en el Sol. Esta idea fue desarrollada propiamente por Kepler. Un cambio radical del planteamiento lo introdujo Galileo al estudiar el movimiento de los cuerpos en planos inclinados. El primero que dio un paso adelante en el análisis del movimiento de los planetas fue Hooke, que generalizó el método de análisis utilizado por Galileo en el caso de los proyectiles que, según demostró, describen trayectorias parabólicas. Hooke reveló este método de análisis a Newton entre 1679 y 1680 [8]. Hooke tuvo que recurrir a Newton porque carecía de la capacidad y los conocimientos matemáticos que caracterizan a Newton. Newton llamo a esta fuerza centrípeta en honor a Huygens.

REFERENCIAS

- [1] Berelli, G. A., *Theoricae mediceorum planetaruis ex causis physicis deductae*, (Florencia, 1496).
- [2] Jammer, M., *Storia del concetto di forza* (Feltrinelli, Milano, 1979).
- [3] Dugas, R., *La mecánica au XVII siècle* (Dunod, París, 1954).
- [4] Taton, R., *Historia general de la ciencia*, Tomo II (Destini, Barcelona, 1972).
- [5] En el siglo XVII el concepto de conatus adquiere especialmente con Huygens, una expresión cuantitativa de la fuerza de hecho la primera expresión cuantitativa–. Según Huygens el conatus de un cuerpo en movimiento era medido por la distancia que cubría, bajo la acción de una fuerza dada en un intervalo unitario de tiempo. Sobre la base de la fórmula galileana $s = \frac{1}{2}gt^2$ la distancia recorrida en la unidad de tiempo es proporcional a la aceleración. En consecuencia, la fuerza es proporcional a la distancia, ya que la fuerza es proporcional a la aceleración del cuerpo en movimiento.
- [6] Newton, I., *Principia Mathematica*, Ob. cit., Tomo II., p.796 (2007).
- [7] Leibniz, G. W., *Mathematische Schriftem* (Edición de C. I. Gerhardt, reprinted Olms, Hildesheim, Tomo VI, Halle, 1860).
- [8] Cohen, I. B., *El descubrimiento newtoniano de la Gravitación. Investigación y Ciencia*, No. 56 (1981).