

# DEFINICIONES BASICAS QUE PRECEDEN AL ESTUDIO DE LA CINEMATICA

CARLOS LOPEZ TASCON  
Departamento de Fisica  
Universidad Nacional de Colombia  
Bogotá

## MOTIVACION

No son pocos, ciertamente, los trabajos sobre MECANICA NEWTONIANA; la mayoría de los cuales han sido redactados con la intención de convertirse en TEXTO guía para docentes y discentes, quienes, por alguna razón, fundamentada o no, consideran que el estudio del Movimiento de los Cuerpos constituye una base más o menos importante, más o menos necesaria, del proceso de formación y adiestramiento del estudiante en una determinada disciplina, bien sea en la Medicina, en la Ingeniería, o en cualquiera de las denominadas Ciencias Naturales. No pocas veces tales textos hacen alarde de innegables recursos didácticos, que incluyen fotografías ilustrativas de situaciones reales en que se manifiestan los fenómenos que se pretende describir, cuidadosos diagramas explicativos y extensas y detalladas discusiones y aclaraciones a conceptos y afirmaciones que, según el autor particular, son de capital importancia. Lejos están los autores de los distintos textos que nos llegan, de poseer un criterio unánime sobre cuáles serían realmente los conceptos y afirmaciones en que vale la pena enfatizar, discrepancia que contrasta con la aparente unanimidad que se puede apreciar en los *Objetivos* que la mayoría de los textos pretenden cumplir, OBJETIVOS NO SIEMPRE EXPLICITOS, pero si fácilmente extractables de la obra en conjunto. Me refiero en concreto al carácter predominantemente *Instrumental* que se da a la FISICA GENERAL, y en particular a la MECANICA.

No se pretende desconocer la importancia de la Didáctica en el proceso de enseñanza, tampoco desconocer la calidad de los textos existentes sobre el tema. En opinión del autor, sin embargo, cabe una posibilidad de enfoque diferente del estudio de la Mecánica. Es posible retomar el hilo conductor que dejaron quienes precisamente sentaron las bases iniciales para el estudio del Movimiento de los Cuerpos y su posterior desarrollo conceptual; es posible realizar un curso con un enfoque que enfatice el carácter conceptual y metodológico de la teoría sobre el movimiento desarrollada por Newton, cumpliendo de esta manera un objetivo centrado en el *Carácter Formativo* que en sí mismo

tiene la mecánica como cuerpo teórico deductivo, así ello lleve a dejar de lado muchos de los aspectos informativos e instrumentales que, indudablemente, también hacen parte del proceso de formación.

No pretende el presente artículo cubrir toda la temática que abarca la Mecánica, tampoco es interés del autor desconocer la importancia de la didáctica en el proceso de aprendizaje. Se pretende presentar un conjunto de definiciones que, en opinión personal del autor, son indispensables para el posterior desarrollo deductivo de la Cinemática y de la Dinámica de Sistemas de Partículas Materiales, tal como fuera concebido por Isaac Newton hace algo más de trescientos años. Volver a un enfoque deductivo más o menos riguroso, que no se hace en los actuales textos de Física General o de Mecánica Clásica, tal vez no garantice al estudiante poder hacer uso de un recetario para resolver problemas inmediatos sobre el movimiento, que seguramente encuentre en su quehacer cotidiano; pero muy probablemente puede enseñarle y dotarlo de una forma racional y lógica para proceder a la búsqueda de las soluciones más aceptables, forma de pensar que bien puede extrapolar a otras situaciones que, tal vez aparentemente, no se relacionan con su actividad científica inmediata. El presente artículo es solo un punto de partida en esta dirección, probablemente no exento de errores y seguramente polémico; si así lo es, y la discusión y crítica sobre lo aquí expresado se estimula, un primer objetivo se habrá cumplido; y entonces, valdrá la pena continuar!

## 1.- INTRODUCCION

Se ha dicho que la MECANICA es la ciencia que estudia el MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS. Ello significa, entonces, que deberá entenderse con conceptos de ESPACIO, TIEMPO y MATERIA, términos que necesariamente exigen una definición lo más precisa posible. No es, entonces, capricho que los más importantes tratados sobre esta ciencia comiencen, por lo general, con una revisión de tales conceptos, así sea para recordar la original interpretación de Newton en sus famosos PRINCIPIA, o también para revisarlos y recontextualizarlos, continuando así con una interminable e interesante polémica que lleva ya más de tres siglos, aún cuando sus orígenes bien podríamos situarlos en la época de los antiguos griegos, otros cuantos siglos antes de nuestra era.

Mucho se ha escrito sobre tales conceptos, y en particular para quienes pretendan seguir un curso sobre MECANICA NEWTONIANA, es de esperar que previamente habrán

tenido oportunidad de leer y discutir al respecto al estudiar las definiciones implícitas en la CINEMATICA GALILEANA. Por consiguiente, salvo las referencias necesarias, no se hará una discusión a fondo de este tipo de problemas, lo cual, sin embargo, no intenta desconocer su importancia. Se pretende solamente justificar, así sea en forma breve, las definiciones sobre las cuales se basa el discurso sobre el MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS; en la medida de lo posible, se intenta seguir los lineamientos trazados por Newton en su inmortal obra antes citada, sin que ello nos obligue a renunciar a conceptualizaciones diferentes que, a nuestro entender, pueden tener mayor consistencia con el posterior desarrollo de la Cinemática y de la Dinámica.

## 2.- TIEMPO Y ESPACIO

El que Newton en su obra no haga una "definición" explícita de los conceptos de TIEMPO y ESPACIO, no quiere decir que la precisión de los mismos no sea de máximo interés en su obra. Por el contrario, tras introducir los conceptos de Cantidad de Materia, Cantidad de Movimiento, Inercia y Fuerzas, en su primer ESCOLIO precisa lo que en su concepto significan Tiempo y Espacio, explicando "...el sentido en que deberán entenderse en lo sucesivo". La necesidad de una definición de Tiempo y Espacio como parte integrante del conjunto de elementos necesarios y previos al establecimiento de la teoría sobre el movimiento, se puede apreciar en los trabajos de J. C. MAXWELL<sup>2</sup> y de H. HERTZ<sup>3</sup>. Siguiendo a éste último podemos introducir las siguientes definiciones:

DEF.1:-EL TIEMPO en la Mecánica, es el mismo de nuestra intuición interna. Es una cantidad tal que la variación de otras cantidades físicas pueden considerarse como dependientes de aquella. En si mismo es siempre una variable independiente que varía uniformemente.

De la variación uniforme e independiente del tiempo se desprende su carácter absoluto, entendiendo por tal que no es afectado por los fenómenos físicos, o viceversa. Adicionalmente podemos también establecer su carácter Homogeneo, que puede expresarse de la siguiente manera:

Las Leyes Físicas son invariantes bajo traslaciones en el Tiempo. En este sentido, las leyes que se establecen como valederas en un instante dado 't' arbitrario, son válidas también en '-t'

En otras palabras, la ley de la caída de los cuerpos o del movimiento de proyectiles no está asociada al instante en que dichas leyes fueron establecidas; en consecuencia, los resultados de los experimentos de Newton o Galileo, serán los mismos que obtendríamos actualmente, si dichos experimentos los realizáramos en las mismas condiciones.

**DEF.2:-EL ESPACIO** en la Mecánica es el espacio definido por la Geometría de Euclides, con las propiedades de Homogeneidad e Isotropía que esta geometría le asigna.

Ni la Naturaleza de los fenómenos físicos ni los cuerpos presentes en el espacio pueden afectar su naturaleza; decimos que tiene un carácter absoluto. En este sentido, la Homogeneidad del Espacio puede expresarse en la siguiente forma:

*Las Leyes Físicas son Invariantes bajo traslaciones en el Espacio.*

En forma análoga, cualquier orientación en dicho espacio es completamente equivalente, existiendo siempre la libertad de escoger alguna como orientación de referencia. Esta escogencia arbitraria no cambia las Leyes Físicas. En este orden de ideas, la Isotropía del Espacio se establece como sigue:

*Las Leyes Físicas son Invariantes bajo rotaciones en el Espacio.*

De las anteriores consideraciones surge la necesidad de fijar en el ESPACIO y en el TIEMPO un punto e instante de referencia, lo cual podrá hacerse con la libertad que se quiera. Se introduce, entonces, el concepto de Sistema de Referencia:

**DEF.3:-Se entiende por SISTEMA DE REFERENCIA un Cuerpo o Conjunto de Cuerpos, respecto de los cuales se mide el movimiento de los demás. En dicho Sistema, el origen del Tiempo es completamente arbitrario.**

De esta definición, se derivan los conceptos de Movimiento y Trayectoria de un punto en el espacio, los que pueden introducirse también mediante definiciones, como sigue:

DEF.4:-Se entiende por MOVIMIENTO de un Punto la variación de su posición con el transcurso del Tiempo respecto del Sistema de Referencia

DEF.5:-La TRAYECTORIA de un Punto es el lugar geométrico de las posiciones que ocupa en el Espacio con el transcurso del Tiempo.

### 3.-PARTICULA E INERCIA

Las anteriores definiciones nos suministran los elementos mediante los cuales es posible describir el Movimiento de un "Punto" respecto de un determinado Sistema de Referencia ; sin embargo, salvo el haberlo asociado a un "Punto Geométrico", nada hemos dicho sobre el sujeto del movimiento, sobre su naturaleza. Es lo que se pretende mediante las siguientes definiciones:

DEF.6:-Se entiende por PARTICULA MATERIAL un aglomerado de Materia de dimensión nula. En un instante dado del tiempo, una Partícula Material está representada en el espacio por un Punto Geométrico, y en si misma es invariable e indestructible.

DEF.7:-La INERCIA de una Partícula Material es la propiedad que ésta tiene, gracias a la cual, si no hay acciones externas sobre ella, mantiene indefinidamente su su Estado Natural de Movimiento.

DEF.8:-La MASA de una Partícula Material es una Medida Cuantitativa de su Inercia. En consecuencia, como se deduce de la DEF.6, este valor permanecerá constante y en cuanto tal, la diferencia de las demás Partículas Materiales.

### 4.-OBSERVACIONES Y DISCUSION

Como ya se estableció, el conjunto de definiciones no implica necesariamente una única interpretación de los conceptos de espacio, tiempo, partícula. etc. La historia del pensamiento científico revela la no unanimidad existente entre los trabajadores de la ciencia en cuanto al concepto que tenían sobre este tipo de entes y sus propiedades.

No se pretende en lo que sigue agotar la discusión sobre el tema; conviene si, a manera de ilustración y ciertamente pecando de simplistas, repasar las concepciones de Espacio en Aristóteles, Newton y Einstein, en particular

en cuanto se refieren a la naturaleza de los fenómenos físicos que en él se suceden.

Para ARISTOTELES el Espacio es finito, con origen en el centro de la tierra, punto que, por lo demás, corresponde al Lugar Natural de los cuerpos pesados, en la misma forma que la periferia lo es para los cuerpos livianos, tales como el fuego. Adicionalmente el Espacio es Anisotrópico en cuanto que en él existen direcciones privilegiadas, para el Movimiento Natural de los cuerpos: hacia el Centro para los Cuerpos Pesados y hacia la Periferia para los livianos. Esta circunstancia implica, adicionalmente, que el Movimiento de los Cuerpos, en cuanto estado Natural, no es perenne sino un estado transitorio.

Según NEWTON, "...el espacio absoluto, en su propia naturaleza, sin relación a nada externo, permanece siempre semejante a si mismo e inmóvil..." En este Espacio, el movimiento de los cuerpos es un Estado Natural e indefinido, equivalente para cualquier dirección (Isotropía). También, en contraposición a Aristóteles, el Espacio según Newton no puede actuar sobre los cuerpos, ni estos modifican las propiedades de aquel. Por consiguiente, salvo la existencia de acciones externas, los cuerpos permanecerán indefinidamente en su estado natural de movimiento, esto es, de reposo o rectilíneo uniforme cuando el sistema de referencia está en reposo en el Espacio Absoluto (Postulado de la Inercia).

En el marco de la Teoría Especial de la Relatividad, formulada por EINSTEIN en 1905, Espacio y Tiempo toman un carácter eminentemente relativo, consecuencia del postulado central de la teoría, cual es el Carácter Absoluto de la Velocidad de la Luz en el vacío. La Invariancia de las leyes Físicas en sistemas de referencia inerciales (Teoría Especial de la Relatividad) no es ahora consecuencia de las propiedades de homogeneidad e Isotropía del Espacio y del Tiempo, como lo es en la formulación newtoniana, sino que se introduce como un "Postulado" adicional. Una interesante discusión sobre el carácter relativo de los conceptos de espacio y tiempo puede leerse en las obras de M. BORN<sup>5</sup>, del propio EINSTEIN<sup>6</sup> y muchos otros estudiosos que han dedicado no pocas horas de su labor científica al estudio de este tipo de problemas. Un brillante y completo estudio sobre el tema lo constituye la obra de Stephen Hawking, "La Historia del Tiempo"<sup>8</sup>.

El concepto de MASA, como los conceptos de Espacio y Tiempo, ha tenido también su propia evolución. Para NEWTON,

la MASA es la medida de la Cantidad de Materia y, en cuanto tal, para una partícula, debe conservarse. Sobre el particular, vale la pena resaltar que la definición de Newton es redundante, en cuanto que, tal como textualmente lo dice en su Definición Primera, "... es la medida de la misma (de la materia), surgida de su densidad y magnitud conjuntamente"<sup>9</sup>. La "Densidad", sin embargo, es la Masa (o cantidad de Materia !) por unidad de volumen, luego se está definiendo la "Masa" en terminos de si misma, lo cual es claramente redundante y no es lógicamente aceptable.

Contrariamente a la concepción "sustancialista" implícita en la mecánica newtoniana, hacia la segunda mitad del siglo XIX (1850 a 1880) aparece una concepción Geométrica de la masa según la cual, ésta es consecuencia de un esquema de medición operacional. En este esquema Positivista (EULER, MACH, HERTZ), la Dinámica, mediante una apropiada axiomatización, puede ser reducida a la cinemática. En palabras de MACH: "Cuerpos de igual masa son aquellos que, actuando el uno sobre el otro, causan en cada uno de ellos, aceleraciones iguales y opuestas". Y más adelante agrega: "... En nuestro concepto de masa, no hay teoría involucrada; no es en absoluto necesaria en ella la 'cantidad de materia'; todo lo que contiene es el establecimiento exacto, la designación y la denominación de un hecho"<sup>10</sup>.

Para MAXWELL, el concepto de mayor importancia no es propiamente el de la Masa sino el de FUERZA, mas exactamente el de INTERACCION entre Partículas; No intrduce una definición explícita de MASA, pero introduce, como posteriormente lo hizo MACH, el criterio de "Comparación" e igualdad entre las masa de dos partículas, así como también los criterios para su estimación numérica, pero siempre asociados al concepto de FUERZA .

En nuestro caso, y tal como ha sido introducido en la DEF.8, hemos adoptado la concepción sustancialista de Newton, aun cuando no necesariamente como la medida de la Cantidad de Materia, sino como la medida de una propiedad más fundamental, inherente a la materia misma, la Inercia, la Fuerza Insita de que habla Newton en su obra.



## NOTAS

- 1 Isaac NEWTON: "Principios Matemáticos de la Filosofía Natural", Editora Nacional, Madrid, 1982, pp 228/235.
- 2 James Clerk MAXWELL: "Matter and Motion", DOVER Publ. N.Y. Trad. de 1887, pp 9/12
- 3 Heinrich HERTZ: "The Principles of Mechanics", DOVER Pub. N.Y., 1956, pp 15/47
- 4 ARISTOTELES: "Del Cielo", libro III, cap.1/2; en "Obras", Edit. Aguilar, Madrid, 1967, pp 755/760.
- 5 Max BORN: "Einstein's Theory of Relativity", DOVER Pub. N.Y., 1965.
- 6 Albert EINSTEIN et al.: "La Teoría de la Relatividad", Alianza Editotial S.A, Madrid, 1981.
- 7 José GRANES S: "Los Conceptos de Espacio y Tiempo en la Física Clásica y en la Relatividad Especial" Rev. Col. de Física 14, 115 (1980). "Dos Concepciones sobre el Espacio y el Tiempo: Newton y Berkeley", Naturaleza No 2, 36 (1983).
- 8 Stephen HAWKING: "A brief History of Time", Bantam Books, N. Y., 1988.
- 9 Isaac NEWTON: op. cit, pg.223.
- 10 Ernst MACH: "The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of Its Development", The Open Court Pub. Co., La Salle, Ill., 6th Ed., 1960, pp. 266/267.
- 11 James Clerk MAXWELL: op. cit., pp. 32/35.